

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMA ESPECIALISTA CONJUGADO A UM SISTEMA CAD PARA  
AVALIAR E DIAGNOSTICAR OS CONHECIMENTOS DE UM  
ESTUDANTE SOBRE COTAGEM NO DESENHO TÉCNICO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

**JÚLIO CÉSAR DA SILVA**



0.224.146-5

UFSC-BU

**FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 1994**

SISTEMA ESPECIALISTA CONJUGADO A UM SISTEMA CAD PARA AVALIAR E  
DIAGNOSTICAR OS CONHECIMENTOS DE UM ESTUDANTE SOBRE COTAGEM NO  
DESENHO TÉCNICO

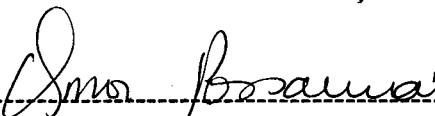
JÚLIO CÉSAR DA SILVA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO  
DE "MESTRE EM ENGENHARIA"  
ESPECIALIDADE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
"ENGENHARIA DO PRODUTO" E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

BANCA EXAMINADORA:



OSMAR POSSAMAI, Dr. Ing.  
Coordenador da Pós-Graduação



OSMAR POSSAMAI, Dr. Ing.  
Orientador




FERNANDO A.O. GAUTHIER, Dr.Eng.



HENDERSON JOSÉ SPECK, Esp.



NERI DOS SANTOS, Dr. Ing.



VANIA RIBAS ULBRICHT, M.Eng.

**Este trabalho é dedicado aos meus pais e à Beth, Mariana e Felipe, pelo carinho e apoio demonstrados, sem o qual não seria possível completar esta dissertação.**

## **AGRADECIMENTOS**

**Ao Professor Osmar Possamai, pela orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.**

**Aos professores do PPGEF, os quais me direcionaram na busca de novos conhecimentos.**

**Aos membros da Banca Examinadora, pelas sugestões e reconhecimento desta dissertação.**

**À Universidade Federal de Santa Catarina e aos colegas do Departamento de Expressão Gráfica, pela licença concedida para realização deste curso.**

**Aos colegas e amigos, pelo apoio e compartilhamento das dificuldades inerentes à um programa de mestrado.**

**Ao Professor Henderson José Speck, especialista do sistema desenvolvido, pela atenção e colaboração dedicadas.**

**Aos alunos das Turmas 339A e 339D, no semestre 94/1, da disciplina Desenho Técnico Mecânico, pela colaboração na aplicação do modelo.**

**Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Produção, pelos serviços prestados.**

**À Teclan - Engenharia de Software Ltda, pelo apoio na impressão desta dissertação.**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Considerações Iniciais .....	1
1.2 - Identificação do Problema .....	3
1.3 - Justificativa .....	4
1.4 - Resultados Esperados .....	6
1.6 - Organização do Trabalho .....	7
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 - Descrição do Problema .....	8
2.2 - SISTEMAS CAD .....	11
2.2.1 - Definição .....	11
2.2.2 - Histórico .....	12
2.2.3 - Desenho Tradicional e CAD .....	14
2.2.4 - Vantagens e Desvantagens .....	14
2.3 - SISTEMAS DE ENSINO INTELIGENTE	
ASSISTIDO POR COMPUTADOR .....	16
2.3.1 - Introdução .....	16
2.3.2 - O Modelo de Corredor .....	17
2.3.3 - O Modelo de Mielke .....	19

<b>2.4 - SISTEMAS ESPECIALISTAS</b>	<b>23</b>
2.4.1 - Definição	23
2.4.2 - Generalidades	24
2.4.3 - Arquitetura e Descrição	25
2.4.4 - Aquisição de Conhecimento	26
2.4.5 - Representação do Conhecimento	31
2.4.6 - Etapas do Desenvolvimento	36

### **CAPÍTULO 3 - A SELEÇÃO DO SOFTWARE E DO HARDWARE**

<b>PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>	<b>38</b>
3.1 - Ferramentas Necessárias	38
3.2 - Ferramentas Específicas e Modelo Inicial	39
3.3 - Critérios Utilizados	43
3.3.1 - Critérios para Escolha do Software para Construção do Sistema Especialista	44
3.3.2 - Critérios para Escolha do Software de CAD	44
3.3.3 - Critérios para Escolha do Hardware Necessário	49
3.4 - Limitações	51

### **CAPÍTULO 4 - O MODELO SECADCOT**

4.1 - Etapas de Criação	53
4.1.1 - Projeto da Base de Conhecimentos	53
4.1.2 - Desenvolvimento e Teste do Protótipo	56
4.1.3 - Refinamento e Generalização da Base de Conhecimentos	56
4.2 - Implementação do SECADCOT	56
4.3 - Descrição Geral	66

<b>CAPÍTULO 5 - VALIDAÇÃO DO SECADCOT .....</b>	<b>70</b>
5.1 - Aplicação do modelo .....	70
5.1.1 - Condições .....	70
5.1.2 - Hipóteses .....	72
5.1.3 - Dados da Aplicação .....	72
5.2 - Análise dos resultados .....	77
5.2.1 - Interpretação dos Dados .....	77
5.2.2 - Completitude da Aplicação .....	77
5.3 - Análise do Modelo .....	78
5.3.1 - Pontos Fortes .....	79
5.3.2 - Pontos Fracos .....	80
5.3.3 - Vantagens .....	80
5.3.4 - Desvantagens .....	81
5.4 - Reavaliação do Modelo .....	82
 <b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	 <b>84</b>
6.1 - Conclusão .....	84
6.2 - Recomendações para Futuros Trabalhos .....	85
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	 <b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>89</b>
 <b>ANEXO 1 - Disquete com os arquivos do SECADCOT</b>	



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura básica de um Sistema Tutorial Inteligente .....	18
Figura 2 - Modelo de Sistema EIAC .....	20
Figura 3 - Arquitetura de um Sistema Especialista .....	25
Figura 4a - Redes semânticas .....	33
Figura 4b - Redes semânticas .....	34
Figura 5 -Tipos de ferramentas para construção de Sistemas Especialistas.....	38
Figura 6 - Matriz de decisão para a escolha do software de CAD .....	46
Figura 7 - Estrutura hierárquica do conhecimento no SECADCOT .....	57
Figura 8 - Frame e slots da instância Global do SECADCOT .....	58
Figura 9 - Regra do desempenho ótimo do SECADCOT .....	59
Figura 10 - Exemplo de imagens utilizadas nas interfaces do SECADCOT .....	61
Figura 11 - Exemplo de imagem bitmap usado nas interfaces do SECADCOT .....	62
Figura 12 - Interface designativa da Sessão Inicial do SECADCOT .....	63
Figura 13 - Uma mensagem emitida pelo botão de apresentação do SECADCOT .....	64
Figura 14 - Interface designativa da Sessão 1 do SECADCOT .....	65
Figura 15 - Interface designativa da Sessão 23 do SECADCOT .....	68
Figura 16 - Gráfico de barras da Aplicação 1 da turma 339A .....	74
Figura 17 - Gráfico de barras da Aplicação 1 da turma 339D .....	74
Figura 18 - Gráfico de barras da Aplicação 2 da turma 339A .....	76
Figura 19 - Gráfico de barras da Aplicação 2 da turma 339D .....	76



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Dados da Aplicação 1 para a turma 339A em 21/3/1994 .....	73
Quadro 2 - Dados da Aplicação 1 para a turma 339D em 16/3/1994 .....	73
Quadro 3 - Dados da Aplicação 2 para a turma 339A em 11/04/1994 .....	75
Quadro 4 - Dados da Aplicação 2 para a turma 339D em 13/04/1994 .....	75

## RESUMO

Este trabalho explora a idéia de informatização do ensino do Desenho Técnico, usando a tecnologia dos Sistemas Especialistas, dos Sistemas CAD e dos Sistemas de Ensino Inteligente Assistidos por Computador. Para tanto, foi desenvolvido um Sistema Especialista, com apoio nas ferramentas acima descritas, que utiliza os conhecimentos de um professor experiente em Desenho Técnico e o que recomenda a NBR-10126, norma da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, sobre Cotação em Desenho Técnico. Este sistema denominado SECADCOT, simula o comportamento de um expert na área e tem por objetivo avaliar e diagnosticar o que um estudante dos cursos de Engenharia, de Arquitetura ou de Matemática, sabe sobre os princípios gerais de dimensionamento, em desenhos técnicos. Este aplicativo foi desenvolvido com auxílio de uma ferramenta para construção de sistemas especialistas e também, com um software de CAD, utilizado para editar os desenhos técnicos cotados necessários para o sistema. O modelo desenvolvido, foi testado e avaliado formalmente por peritos no domínio pesquisado e por estudantes dos cursos de Engenharia Mecânica e de Produção Mecânica, da UFSC. Esta etapa foi chamada de validação do modelo e serviu para comprovar que o sistema desenvolvido comporta-se num nível de um especialista, que é viável, que facilita o trabalho do professor de desenho técnico e que possui uma interface amigável, mesmo para usuários que não tenham maiores conhecimentos sobre informática.

## **ABSTRACT**

This thesis explores the idea of a computer-based Draw Teaching using tools such as Expert Systems, CAD and Computer-Assisted-Learning. An Expert System, called SECADCOT, was based on the knowledge of an experienced drawing teacher and the NBR-10126, a rule dictated by the Brazilian technical norms association, about dimensioning in technical drawings. The SECADCOT, simulating a technical drawing expert, allows the Architecture, Engineering and Mathematical students, a general knowledge evaluation and diagnosis. The tools used to develop this proposal, consisted of an Expert System shell and a CAD system. The last is needed for dimensioning the drawings which are the input data for the system modeled with the former. The SECADCOT was validated by experts and students from the Mechanical and Production Engineering courses of the Federal University of Santa Catarina. In conclusion, the validation results proved that the proposed system not only behaves as an expert, making drawing teaching easier, but it also shows a friendly man-machine interface.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

#### **1.1 - Considerações Iniciais**

De acordo com Waterman [1], o objetivo dos cientistas da Inteligência Artificial (IA), tem sido desenvolver programas que possam ter bom senso, isto é, que resolvam problemas de uma forma que poderia ser considerada inteligente se executada pelo homem. Os Sistemas Especialistas (SE) são o fruto de 20 anos de questionamento para definir a natureza apropriada de cada programa. Nos anos 60, estes cientistas tentaram simular o complexo processo do pensamento, através da descoberta de métodos genéricos para resolução de amplas classes de programas, ou seja, usaram estes métodos em programas de propósito geral.

Entretanto, apesar de alguns avanços, esta estratégia não produziu grandes descobertas. O desenvolvimento destes programas era difícil e de poucos resultados. Decidiram então, que poderiam explorar outros caminhos para fazer os programas serem inteligentes; concentraram-se então em métodos de desenvolvimento geral para utilização em programas mais especializados.

Assim durante os anos 70, os estudos se concentraram em técnicas como representação - como formular o problema para que fosse mais fácil de resolver - e de busca -como controlar habilmente a busca de uma solução que não levasse tempo demais ou usasse muita memória do computador. Novamente a estratégia produziu algum sucesso mas nenhum grande salto científico.

Isto não ocorreu até que no final dos anos 70, os cientistas perceberam que: o poder de

resolução de problemas de um programa advém do conhecimento que ele possui e não somente dos formalismos e esquemas de inferências que ele emprega.

O grande salto científico conceitual era realizado e pôde ser simplesmente estabelecido:

"Para tornar um programa inteligente, forneça-lhe muito conhecimento específico e de alta qualidade sobre uma área problemática", afirma Waterman.[1]

Esta realização levou ao desenvolvimento de programas de propósito especial, sistemas que eram especialistas em alguma área problemática restrita. Estes programas foram denominados Sistemas Especialistas e um novo campo surgia. Segundo Passos, [2] este conhecimento artificial apresenta algumas vantagens: é perene, consistente, fácil de transferir e documentar e além disso, mais barato. Assim, pela ligação do computador com a riqueza da experiência humana, os sistemas especialistas engrandecem o valor do conhecimento especializado por torná-lo mais acessível.

Por outro lado, segundo Resetarits, [3] com o desenvolvimento na indústria de microcomputadores surgiu a possibilidade de produzir desenhos técnicos, com ajuda de software específico de CAD. O Desenho e Projeto com o Auxílio do Computador (CADD) ou simplesmente, Projeto com o Auxílio do Computador (CAD), é uma nova tecnologia que está rapidamente mudando o modo com o qual as imagens gráficas são registradas e os desenhos técnicos são criados. Tradicionalmente estes desenhos tem sido criados usando-se uma prancheta, régua-tê e lápis. Jumper apud Resetarits [3] observou que "as ferramentas do negócio mudaram de grafite e régua-tê, para teclado e digitador". A mudança também está sendo feita em muitos currículos dos cursos de Engenharia.

Os mais antigos desenhos técnicos conhecidos datam de 4000 a.C. Através dos anos, tem-se observado contínuo desenvolvimento na engenharia gráfica e desenho, mas nada tão revolucionário quanto o CAD. Madsen apud Resetarits, [3] observa que "os engenheiros

entraram numa era de mudanças dramáticas, um tipo de mudança que não acontece frequentemente". O computador teve grande impacto no modo como agora são criadas representações gráficas, numa vasta gama de disciplinas. Quem quer que tenha usado anteriormente uma prancheta de desenho e régua-tê, para criar um desenho, tem agora o potencial de usar a tecnologia computacional para substituir suas velhas ferramentas por outra nova, isto é, o CAD.

## **1.2 - Identificação do Problema**

Este trabalho explora a idéia da informatização do ensino de desenho técnico usando a tecnologia dos Sistemas Especialistas. O Projeto com o Auxílio do Computador é um campo fortemente relacionado, mas o Sistemas Especialista manuseia resultados muito mais amplos.

O método tradicional de ensinar o Desenho Técnico é usar o equipamento manual de desenho seguindo as instruções de um professor e o livro. Ultimamente, o método básico está sendo substituído ou pelo menos complementado pelos métodos auxiliados por computador.

O objetivo principal do ensino do Desenho Técnico é apresentar ao estudante uma nova linguagem simbólica. A gramática ou os princípios básicos aprendidos numa aula desta disciplina, ajudarão o estudante a comunicar idéias e conceitos para uma grande comunidade técnica usando esta linguagem.

O método tradicional de ensino ainda serve muito bem para atingir estes objetivos, mas é um método enfadonho. Ele consome bastante do tempo do professor, na correção de exercícios individuais, passo a passo, e impede o educador de fazer um trabalho mais criativo. Por outro lado, a introdução do CAD deve ser vista como uma ferramenta importante e não como uma ferramenta auto-suficiente.

A integração desses dois aspectos, isto é, o conhecimento de um professor experiente e a conveniência do computador, será a tarefa de um Sistema Especialista. De fato, num sistema baseado em regras, elas são desenvolvidas com base na habilidade dos experts em analisar logicamente uma solução dada. Além disto, existe um banco de dados no qual estas regras trabalham, que é baseado no conhecimento e experiência do especialista. Em nosso caso, o especialista é o professor de Desenho Técnico.

Portanto, o problema é o ensino do desenho nos moldes tradicionais, pois a informática, mais especificamente, a computação gráfica, revelou-se uma nova ferramenta bastante poderosa e valiosa para a educação na engenharia.

A indústria já vem utilizando os sistemas CAD há algum tempo, visando uma maior eficiência no projeto de seus produtos, abrindo-se um mercado promissor e necessitando de engenheiros recém-formados com treinamento nesta área.

O custo dos equipamentos necessários para implantação destes sistemas, vem permanentemente caindo, tornando viáveis até sistemas domésticos, ao mesmo tempo, que o software gráfico está cada vez mais avançado e amigável para o usuário.

Torna-se, portanto necessário, que as escolas e faculdades de engenharia se adaptem a estas tecnologias. Para alcançar esta nova realidade, este trabalho pretende abordar o tópico relativo ao dimensionamento de desenhos técnicos, utilizando um sistema especialista de apoio ao ensino, em conjunto, com um sistema CAD.

### 1.3 - Justificativa

Apesar de nem todos engenheiros utilizarem os sistemas CAD em sua vida profissional,

eles terão uma introdução no treinamento para desenhar e projetar com o auxílio do computador, enquanto os outros graduandos terão sido apresentados a uma moderna ferramenta, a qual certamente aumentará seu uso em todas as fases da engenharia no futuro próximo.

Muitos estudantes, especialmente os que tem dificuldades em esboçar e desenhar manualmente, com precisão, podem encontrar na computação gráfica, uma boa alternativa para o desenho à lápis ou à nanquim e podem preferir usar o computador ao invés da prancheta de desenho, permitindo uma maior concentração nos princípios do desenho técnico.

Outra vantagem é uma preparação melhor, mais atualizada e em sintonia com as necessidades das empresas, que buscam incrementar a qualidade de seus produtos, através do aumento da produtividade e da capacitação tecnológica. O CAD possibilita a redução do tempo dos projetos, refletindo uma imagem de companhia moderna e conseqüentemente, tornando-a mais competitiva.

Também é comprovado um aumento na motivação dos estudantes que trabalham com sistemas CAD. Resetarits e Bertolini apud Resetarits, [3], observam que muitas tarefas manuais tediosas e lentas, como o desenho de letras, sombreamento e partes simétricas de peças podem ser automatizadas com o uso de software de CAD.

Contudo, conforme estes autores, certamente haverá um **drawback**, resultante do uso extensivo da computação gráfica e que é a deterioração das habilidades do estudante para esboçar e desenhar manualmente. Evidentemente, tal situação é corrigível porém não pode ser evitada, como o resultado da utilização de uma nova tecnologia.

Outras desvantagens atribuídas aos sistemas CAD, conforme Cunha et al., [4] são: o custo elevado, a alteração de hábitos operacionais no ambiente onde são implantados e a



dificuldade da implantação com o rendimento esperado.

#### **1.4 - Resultados Esperados**

Com uma mudança radical nas ferramentas tradicionais empregadas pelos estudantes de Engenharia para desenhar, prevê-se uma alteração do seu modo de pensar e trabalhar.

A utilização de sistemas especialistas, acoplados a sistemas CAD, implicará em ações dos estudantes que não tinham destreza manual e habilidades de coordenação, no sentido de uma menor concentração em relação à estas características, as quais serão substituídas pela precisão do computador e do plotador.

A utilização de ferramentas que empregam sistemas CAD, nas escolas de Engenharia, possibilitará uma maior sintonia com as necessidades das empresas, em relação ao treinamento dos recém-formados, permitindo desta maneira, a automatização das atividades de projeto, o que resulta na melhoria da produtividade, da qualidade dos produtos e da satisfação do consumidor final.

Espera-se também, que o tempo gasto no ensino do dimensionamento, nas disciplinas com este conteúdo, no mínimo, não seja diferente do sistema tradicional.

Acredita-se que o sistema permitirá um grande ganho no tempo de resposta, para determinar a avaliação, o grau de desempenho e o diagnóstico dos conhecimentos sobre cotação de um estudante de Desenho Técnico.

### **1.5 - Organização do Trabalho**

O trabalho está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 descreve detalhadamente o problema e representa a fundamentação teórica, com a descrição dos Sistemas CAD, dos Sistemas de Ensino Inteligentes Auxiliados por Computador e dos Sistemas Especialistas.

O Capítulo 3 descreve a seleção do **software** e **hardware** para construção do modelo, através da verificação das ferramentas necessárias, das ferramentas específicas e modelo inicial, dos critérios utilizados e das limitações.

O Capítulo 4 apresenta o modelo denominado SECADCOT e descreve suas etapas de criação, sua forma de implementação e sua descrição geral.

O Capítulo 5 apresenta a aplicação do modelo para especialistas e estudantes, a análise dos resultados, a análise do modelo e a reavaliação do mesmo.

Finalmente, o Capítulo 6, apresenta a conclusão e algumas recomendações para futuros trabalhos.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 - Descrição do Problema

O problema originou-se da constatação de que o ensino do Desenho Técnico, nos moldes tradicionais, isto é, utilizando-se a instrumentação típica do meio (lápiz ou caneta nanquim, borracha, régua-tê, prancheta, régua, esquadros, compassos, etc.), estava tomando-se monótono e ultrapassado após o aparecimento dos sistemas CAD. Estes sistemas propiciaram um grande avanço tecnológico, nas áreas de projeto e desenho de engenharia.

Aliado à este desenvolvimento, verificado principalmente nas últimas duas décadas, ocorre também, um avanço significativo nos sistemas de Ensino Inteligente Assistido(ou Auxiliado) por Computador, os chamados sistemas EIAC ou ICAI (Intelligent Computer-Assisted Instruction), possibilitando o uso de novas ferramentas na área de Educação.

Junto à este progresso da informática, surgem também, os Sistemas Especialistas, os quais, tem se revelado como uma ferramenta valiosíssima, com aplicação em vários setores, incluindo a Educação.

Entretanto, conforme Blach, Krepec e Latinovic,[5] apesar de todo este desenvolvimento, que afetou o currículo tradicional de Engenharia, o ensino do Desenho Técnico não mudou muito nos últimos anos. A Computação Gráfica não está incluída nos diversos cursos de Engenharia, por diversas razões, entre elas, o tempo necessário para treinar estudantes no uso destes recursos gráficos e o alto custo das instalações profissionais de desenho para computador (workstations).

Por outro lado, cada vez mais indústrias convertem pelo menos parte de seus recursos de desenho de engenharia para sistemas de desenho auxiliados por computador, necessitando de engenheiros recém-formados, que tenham conhecimento de como estes sistemas funcionam.

Inclusive, agora mais do que nunca, os engenheiros projetistas devem pessoalmente alimentar suas idéias baseados num sistema de computação gráfica, mais do que através do desenhista, como era costumeiro.

Portanto, torna-se necessário que as escolas de Engenharia, se adaptem a estas novas tecnologias, tornando corriqueiro o uso de ferramentas de CAD, de EIA e de Sistemas Especialistas, visando um aumento da motivação, da qualidade e da eficiência, na educação de seus graduandos.

Partindo destas considerações, busca-se desenvolver nesta dissertação, um Sistema Especialista que faça a avaliação dos conhecimentos de um estudante, sobre o tópico cotagem, o qual é uma das partes fundamentais e básicas nos programas das disciplinas de Desenho Técnico.

O sistema proposto é composto por interfaces desenvolvidas com auxílio de sistemas CAD e é um consultor de um professor de Desenho Técnico, baseado em computador. Quando um estudante se depara com um problema, o Sistema Especialista poderá diagnosticá-lo, inferir uma solução para o mesmo e apresentar-lhe a linha de raciocínio correta. A explanação da linha de raciocínio utilizada para obter uma solução particular, poderá também ser dada.

A matéria prima para a forma de fazer inferência do Sistema Especialista, consiste de conhecimentos de raciocínio extraídos de um especialista humano e armazenados como parte do sistema. Este é representado tipicamente em forma de regras.

Embora sejam possíveis muitas variações sintáticas, ao iniciar uma regra, ela tem pelo menos duas partes básicas: uma premissa e uma conclusão.

Se a situação descrita por uma premissa de regra pode ser determinada como verdadeira, as ações específicas nesta condição podem ser consideradas válidas.

Da mesma forma que um especialista humano pode raciocinar sobre certas situações, assim também faz um Sistema Especialista, através de suas inferências.

Como um especialista humano, tal sistema, as vezes, pode inferir soluções múltiplas e alternativas para um problema, mais do que uma simples resposta definitiva.

O sistema implementado, comunga com a idéia de Mielke,[6] que desenvolveu uma dissertação sobre um modelo teórico de sistemas Ensino Inteligente Assistidos por Computador (EIAC), na qual propôs o desenvolvimento de um conjunto de Sistemas Especialistas, que façam a avaliação cognitiva e comportamental do estudante. O modelo proposto faz a avaliação cognitiva do estudante e é uma operacionalização do Módulo de Avaliação, do modelo teórico arquitetado pelo autor acima referido.

Na programação do Módulo de Avaliação, Mielke (op.cit.) autor diz que é necessário realizar a aquisição do conhecimento junto à um professor ou pessoa experiente no ensino e modelar a representação deste conhecimento numa base de conhecimentos, para que possam ser usadas por um programa de inferência.

Além da dissertação de Mielke,[6] Ulbricht [7] e Ulbricht, R. [8], também trouxeram valiosos subsídios para a elaboração do presente trabalho.

## **2.2 - SISTEMAS CAD**

Para Voisinnet, [9] o desenho técnico tem sido parte da indústria há muitos anos, pois é o elo de ligação entre projetos de engenharia e sua produção. A informação é rapidamente comunicada à fabricação, na forma de desenhos preparados de acordo com padrões predeterminados de desenho. Dizem que um desenho vale por mil palavras. Atualmente um desenho vale muito mais. A velocidade de compreensão gráfica pode alcançar uma proporção 50.000 maior que a leitura.

### **2.2.1 - Definição**

Para Cunha et al.,[4] o CAD (**Computer Aided Design**) corresponde à execução da atividade de projetar, através da criação, manipulação e representação de modelos, utilizando computador e equipamentos especiais. Os autores se referem ao projeto, como o processo de concepção, análise e especificação detalhada de sistemas físicos a serem construídos, fabricados e montados.

Para Voisinnet, (op.cit.) um desenho de engenharia pode ser preparado por meios que não usem instrumentos convencionais. Tradicionalmente, instrumentos para projetar têm sido usados para aplicar grafite ou tinta, em papel vegetal ou poliéster. Atualmente, a alternativa é preparar o desenho com o auxílio de um computador. Este método é conhecido como Desenho Auxiliado por Computador ou Projeto. Eles vem rapidamente substituindo o desenho manual. Neste trabalho, considerar-se-á o Desenho Auxiliado por Computador, como parte integrante de um sistema CAD.

### 2.2.2 - Histórico

Segundo Voisinnet, [9] os sistemas CAD estão disponíveis no mercado desde 1964, quando foram introduzidos pela IBM. O primeiro sistema completo (**turnkey system**) ficou disponível em 1970 pela **Applicon Incorporated**.

A implementação do CAD, ocorreu no começo dos anos 1980, somente nas grandes empresas. Contudo, só recentemente o forte impacto deste novo instrumento técnico foi sentido. A taxa de crescimento foi exponencial ao longo da década de 1980 e a revolução técnica desta tecnologia avançada continua até o momento atual, onde ele afeta sensivelmente todas as áreas da indústria.

Já para Madsen apud Resetarits,[4] no início da implementação desta nova tecnologia, devido ao custo de um computador de grande porte, do tipo **mainframe**, necessário para utilizar o **software CAD**, poucas instituições podiam empregar esta tecnologia. Nos últimos cinco anos, com o desenvolvimento de micro computadores mais sofisticados, o CAD tomou-se viável para diversos tipos de usuários. As estimativas atuais são de que existem mais de 328 mil sistemas CAD instalados em todo o mundo (Taylor, apud Resetarits). [4]

Para fornecer ao graduando em engenharia um bom conhecimento básico de desenho por computador, os obstáculos mencionados tem de ser superados. O primeiro, a falta de tempo é um sério obstáculo. Com o passar dos anos, para dar lugar aos tópicos avançados, foram reduzidos ao mínimo os créditos ou horas semanais dedicados as ciências gráficas.

Muitos programas curriculares dos cursos de Engenharia, atualmente só ocupam um semestre, três créditos (3 horas por semana), abrangendo todos os aspectos do Desenho Técnico. É difícil encaixar um novo tópico tão complexo quanto o desenho auxiliado por computador num programa de grafismo, em tempo tão reduzido. O segundo obstáculo é o alto

custo das instalações de desenho computadorizado de qualidade profissional. Cada estação de trabalho de um sistema, pode custar algo em torno de 15 a 30 mil dólares.

Ignorar o problema ou adiá-lo por alguns anos, certamente não resolveria a questão. Assim, para introduzir o desenho auxiliado por computador em um currículo é necessário assumir um compromisso que deve reduzir drasticamente tanto os custos, como os requisitos de tempo, de modo que um conteúdo programático de desenho auxiliado por computador possa ser cumprido dentro destas limitações.

Há alguns anos o desenho com o auxílio do computador, foi considerado caro e assim, não adequado para a educação geral de engenharia. Eram necessários potentes minicomputadores especializados, com software sofisticado de desenhos e com preços que assustavam os administradores universitários. O advento de potentes computadores pessoais a princípio mudou pouco. Os pacotes de desenho por computador requeriam onerosos **hard disks**, monitores de tamanho grande e alta resolução.

Era necessário, também, longos períodos de treinamento para usar estes sistemas, devido a complexidade do programa e do sistema de operação.

Mas na indústria, o processo de desenho e projeto auxiliados por computador, está sendo cada vez empregado. Assim, a indústria começou a necessitar de um bom conhecimento de CAD, dos engenheiros recém-formados e as universidades não estavam prontas para fornecer o treinamento necessário. Não tendo fundos para adquirir sistemas CAD profissionais para treinamento dos alunos, as escolas e faculdades de Engenharia se defrontaram com o dilema de ter de graduar engenheiros como conhecimento apenas teórico em desenho por computador.



### **2.2.3 - Desenho Tradicional e CAD**

Voisinnet, [9] relata que durante décadas, desenhos eram feitos a caneta ou a lápis, pelas mãos de um homem conhecido como desenhista (**draftsman** ou **drafter**). Para se tornar um desenhista famoso, e eventualmente um projetista, o indivíduo tinha de desenvolver antes um conhecimento completo de desenho técnico e, em seguida, um nível de habilidade, denominado técnica. Por último, requeria-se o estudo de conceitos teóricos de projeto para uma área de especialização. Os desenhos eram produzidos na prancheta tradicional com o auxílio de instrumentos manuais, tais como o compasso.

A implementação do CAD mudou as exigências educacionais para se tornar um desenhista de sucesso. Programas e currículos que enfatizaram o desenvolvimento da técnica de desenho necessitam rever agora esta prática para sobreviverem. Com a mudança nos currículos, o número de estudantes que poderão ser instruídos num laboratório também mudará. Laboratórios tradicionais de desenho normalmente acomodam 20 a 24 estudantes. Com o CAD, conforme Voisinnet (op.cit.), a quantidade diminuiu para 12 a 18 estudantes, sendo um máximo de 2 alunos por terminal. Por isso, as instituições educacionais devem considerar mais que o custo inicial do equipamento ao revisar programas. Deve-se notar que outros dois componentes - desenho técnico e teoria de projeto - continuarão a ser essenciais. Isso, associado à matemática apropriada, ciência e educação geral, continuará a produzir excelentes desenhistas.

### **2.2.4 - Vantagens e Desvantagens**

Conforme o referido autor, o uso do computador em profissões de desenho e projeto é o mais significativo desenvolvimento que ocorreu na engenharia. Atingiu o mundo técnico como uma onda de choque, revolucionando a maneira de preparação de desenhos. Se a

informação é diretamente enviada ao equipamento de produção ou transporte de materiais, refere-se ao sistema como projeto auxiliado por computador/produção auxiliada por computador (CAD/CAM).

Desenhos podem ser preparados mais rápida e precisamente com o CAD do que com métodos tradicionais. Os benefícios derivados do uso desses sistemas incluem:

- Redução do trabalho de desenho;
- Redução no tempo de revisão e alteração;
- Economia direta do custo;
- Alta precisão;
- Melhoria do fluxo direto de informações através de uma companhia;
- Avaliação de desenhos alternativos;
- Uso de partes comuns em múltiplos produtos;
- Uso de bibliotecas padrões para rápida repetição de cópias.

Os aspectos positivos do CAD excedem de longe os negativos, que incluem:

- Tempo perdido devido à falha do equipamento;
- Espera na fila devido a outras requisições do computador;
- Alto custo tanto do equipamento como do treinamento adicional;
- Fadiga óptica;
- Desvio de trabalho em potencial (turno extras e/ou revezamento).

Concluindo, verifica-se que o emprego dos sistemas CAD, implica em consequências, tais como: a necessidade de um retreinamento dos funcionários atuais e uma mudança no treinamento dos futuros funcionários. Muitos desenhistas, projetistas e engenheiros têm retornado às escolas.

O efeito final no número total de profissões que trabalham com desenho não é claro. Todavia, os desenhistas continuarão a se manter como um componente integrante da indústria. O CAD possibilitará aos desenhistas serem mais criativos enquanto gastam menos tempo na tarefa mais repetitiva de acabamento gráfico do desenho.

## **2.3 - SISTEMAS DE ENSINO INTELIGENTE ASSISTIDO POR COMPUTADOR**

### **2.3.1 - Introdução**

Bar e Feigenbaum, [10] relatam que as aplicações educacionais da tecnologia de computadores estão sendo desenvolvidas desde o início dos anos 60. Estas aplicações incluíam catálogos de cursos, apoio no gerenciamento do ensino e de testes de graduação. Entretanto, a aplicação predominante, tem sido o uso do computador como um dispositivo, que interage diretamente com o estudante, mais do que um assistente para o professor. Devido a isto, existem três abordagens gerais:

A primeira abordagem, denominada ambiental, é caracterizada pelo Laboratório LOGO de Seymour Papert (1980), a qual levou o estudante ao uso da máquina, com um estilo mais ou menos livre. Neste caso, o estudante é envolvido com programação.

A segunda abordagem, utiliza jogos e simulações como ferramentas instrucionais - por exemplo, fazendo experimentos genéticos simulados, no qual a aprendizagem é um efeito esperado.

A terceira aplicação de computadores na educação é a Instrução ou Ensino Assistido por Computador (CAI-Computer Assisted Instruction). Diferente das duas primeiras abordagens, os sistemas CAI fazem um esforço explicativo, para instigar e controlar a

aprendizagem, entretanto isto pode ser atingido, enquanto o estudante está envolvido em alguma atividade, tal como, uma simulação ou um jogo. O objetivo da pesquisa nesta área é a construção de programas instrucionais, que incorporem o material dos cursos em lições que são otimizadas para cada estudante.

Os pesquisadores atuais preocupam-se com o projeto de programas que podem oferecer instrução de uma maneira que seja sensível ao vigor ou a fraqueza do estudante e à seu estilo predileto de aprendizagem. São os denominados sistemas ICAI (**Intelligent Computer-Assisted Instruction**), definidos em 1970, por Carbonell apud Bar e Feigenbaum, [10] como sendo uma segunda geração de CAI, que é o CAI inteligente (**Intelligent CAI**) ou um sistema CAI baseado em conhecimentos. Mielke, [6] emprega o termo Ensino Inteligente Assistido por Computador (EIAC).

O papel da Inteligência Artificial em aplicações instrucionais baseadas em computador é visto como o fazer possível, um novo tipo de ambiente de aprendizagem.

Nos últimos anos, tem surgido uma tomada de consciência de que a aplicação de Sistemas Baseados no Conhecimento, podem melhorar a qualidade e eficiência dos sistemas CAI.

As pesquisas na área de aprendizagem estão voltadas para a utilização da Engenharia do Conhecimento nos sistemas comumente chamados ICAI ou EIAC.

### 2.3.2 - Modelo de Corredor

Segundo Corredor, [11] os sistemas EIAC, ICAI ou STI (**Sistemas Tutoriales Inteligentes**), conforme denominado, possuem quatro componentes básicos: o Módulo

Especialista, o Módulo do Estudante, o Módulo de Estratégias de Ensino e o Módulo de Interface com o Usuário, conforme figura 1.

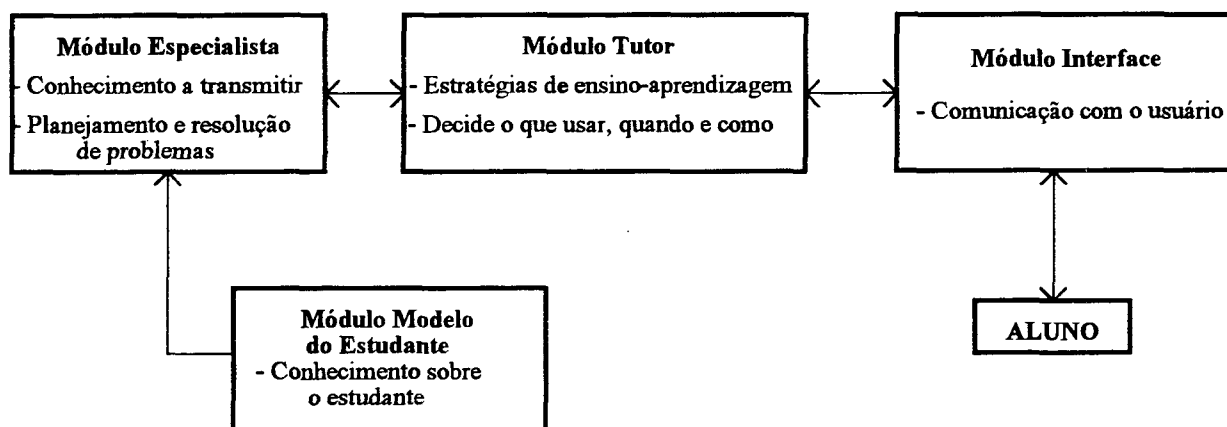


Fig. 1- Arquitetura básica de um STI. [11]

Cada componente deste sistema desempenha determinadas funções, as quais serão descritas a seguir.

- **Módulo Especialista:** contém o conhecimento da matéria a ser transmitida, com capacidade para responder às possíveis dúvidas dos estudantes e reconhecer solução incorreta. Tem capacidade para apresentar diferentes exercícios, que contém a mesma estratégia de solução. Tem como aspecto principal a forma de representação do conhecimento;

- **Módulo Modelo do Estudante:** armazena informação sobre o estudante, determinando seu nível, isto compreende a quantidade de compreensão do assunto tratado, estratégia de aprendizagem preferida, erros cometidos no processo de aprendizagem e a estratégia utilizada pelo estudante para a resolução de problemas;

- **Módulo Tutor:** contém as estratégias, regras e processos que orientam as interações do sistema com o estudante. Cabe a este módulo determinar que tipo de problema apresentar, controlar o rendimento do aluno, apresentar auxílio quando o estudante solicitar e selecionar material de apoio em caso de erro;
- **Módulo Interface:** encarregado de gerar procedimento corretos ao estudante, interpretar suas respostas, organiza-las e repassá-las ao sistema.

Pelo exposto fica claro que os Sistemas Especialistas são usados em todos os módulos de um Sistema Tutorial Inteligente (STI), pois no Módulo Especialista é o especialista que trabalha e maneja o conhecimento do tema; o Módulo Tutor é especialista em técnicas de aprendizagem, para escolher conceitos, fixar o nível de dificuldade do processo de ensino, e controlar todo o processo de aprendizagem; o Módulo Modelo do Estudante é especialista em analisar as respostas dos alunos, identificando conceitos não compreendidos por eles, e detectando seu nível de assimilação e motivação; e o Módulo de Interface é especialista na interpretação da linguagem natural.

Como em um Sistema Especialista, no Sistema Tutorial Inteligente haverá uma integração dos quatro módulos para desenvolver-se a tarefa.

### 2.3.3 - O Modelo de Mielke

O modelo de sistema Ensino Inteligente Assistido por Computador (EIAC) proposto por Mielke, [6] originado de seus estudos nas áreas de ergonomia cognitiva, inteligência artificial e hipertexto; compõem-se de cinco módulos básicos, representados na figura 2 e descritos sinteticamente a seguir.

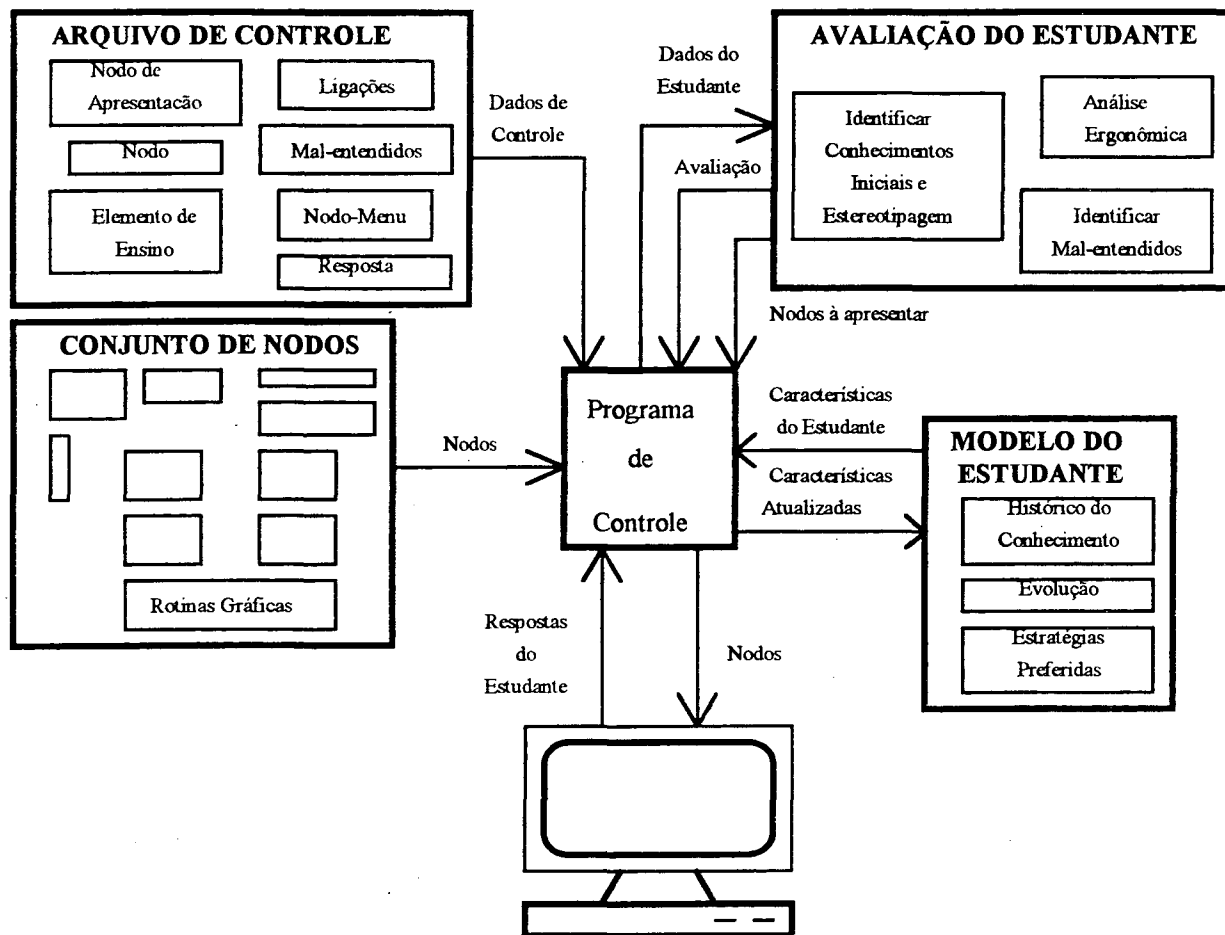


Fig. 2 - Modelo de Sistema EIAC. [6]

**-Módulo Conjunto de Nós do Hipertexto:** neste módulo, todas as informações e conhecimentos a serem transmitidos para o estudante estão armazenados e serão apresentados sob a forma de uma sequência de nós de hipertexto. Além dos nós que apresentam textos, figuras e gráficos também podem existir nós que contêm rotinas gráficas, responsáveis por animações. O autor enfatiza que, preferencialmente, deve existir mais de uma sequência de nós do hipertexto, de acordo com as várias estratégias de ensino ou nós de apresentação. Deste módulo também fazem parte diferentes tipos de nós, utilizados para apresentar conhecimentos e denominados nós de apresentação. Além destes nós, existem os nós de avaliação, que constituem-se na principal maneira de se identificar as características do estudante. Outro tipo de nó que pode estar presente é o nó menu, o qual auxilia na

determinação da sequência de nodos a ser apresentada. Desta forma, uma sequência de nodos que é apresentada pode conter diversos tipos de nodos. Cada sequência de nodos, por sua vez, está especificada num conjunto de arquivos de controle do hipertexto;

- **Módulo Arquivos de Controle do Hipertexto:** constitui-se de um grupo de arquivos que armazenam dados que possibilitam ao sistema, controlar características da apresentação, como posição na tela onde serão mostrados os nodos, sequência de nodos de acordo com cada modo de apresentação, características particulares de cada nodo, ligações implícitas relacionadas a cada nodo, relações de pré-requisitos entre nodos, que caminhos seguir a partir de menus ou de situações onde o comportamento do estudante deve ser corrigido e ainda possa avaliar as respostas do estudante;

- **Módulo Avaliação do Estudante:** este é o módulo responsável pela análise da interação entre sistema e estudante. Determina o que o estudante conhece, quais seus mal-entendidos, quais seus modos de apresentação preferidos e qual é sua capacidade de raciocínio e de abstração. O principal instrumento usado por este módulo para interagir com o estudante são os nodos de avaliação. A forma e conteúdo dos nodos de avaliação estão intimamente relacionados com o processamento de informações deste módulo. Este módulo tem três funções básicas:

- gerar um conjunto de conhecimento iniciais a respeito do estudante, inclusive fazendo inferência a partir do conhecimento de outros estudantes com características semelhantes;
- analisar toda a interação com o estudante, em todos os momentos, detectando assim, mudanças e evoluções em seu comportamento;
- identificar mal-entendidos, que são conhecimentos errados que o estudante considera corretos.

As três funções deste módulo são apoiadas em determinadas condições. Em outras palavras, as características do estudante que serão determinadas por elas estão condicionadas a



variáveis. A medida que os valores dessas variáveis modificam, também mudam as conclusões a respeito do estudante. Como esta análise será feita por computador, tem-se um sistema com características de inteligência artificial. Além disso, conforme Mielke, [6] a determinação das características de uma pessoa, do ponto de vista educacional, é uma tarefa especializada, que exige o conhecimento de especialistas. Por essas razões este módulo terá características de um sistema especialista;

- **Módulo Modelo do Estudante:** este módulo contém um conjunto de arquivos que registra informações à respeito de cada estudante, onde são gravados seus dados pessoais. Uma característica muito importante deste módulo é que ele é dinâmico. À medida que o estudante utiliza o sistema, seus dados são atualizados. Isso exige que alguns nodos sejam projetados visando a obtenção dessas informações. Assim, o Módulo de Avaliação examina o conteúdo atual do Modelo do Estudante, determina que nodos apresentar visando a obtenção de informações do estudante, e com base nesses dados, reatualiza o Modelo do Estudante. A atualização deste módulo, deve ser feita com frequência e sempre que o desenrolar da apresentação propiciar uma oportunidade. Basicamente os dados que o Modelo do Estudante deve conter são quais estratégias de ensino o estudante prefere, tanto explicitadas por ele, quanto determinadas pelo sistema, com base no seu desempenho. Além disso, um histórico da evolução do conhecimento do estudante em relação aos elementos de ensino tratados e um histórico da evolução de sua capacidade de raciocínio e de abstração;

- **Módulo Programa de Controle:** este módulo é responsável pelo gerenciamento dos demais módulos e pelo controle da interação com o estudante. Com base nas características do estudante, que constam nos módulos Modelo do Estudante e Arquivos de Controle, o programa determina a sequência de nodos a apresentar. Ele também gerencia os comandos recebidos do estudante, agindo de acordo. Nas sequências de apresentação, eventualmente encontram-se nodos de avaliação. O comportamento do estudante diante desses nodos é enviado ao nodo de avaliação que devolve suas conclusões ao programa de controle.

Esta é uma breve descrição do modelo teórico de um sistema de Ensino Inteligente Assistido por Computador - EIAC, proposto por Mielke[6]. Ulbricht,[7] conseguiu operacionalizar parcialmente este modelo, no seu módulo conjunto de nodos e R. Ulbricht, [8] implementou o módulo de avaliação do estudante. Verificou-se portanto, que os dois pesquisadores, conseguiram demonstrar que tal modelo teórico era viável.

## 2.4 - SISTEMAS ESPECIALISTAS

### 2.4.1 - Definição

Segundo Genaro, [12] os Sistemas Especialistas são programas intensivamente baseados em conhecimento que resolvem problemas que normalmente requerem experiência humana. Eles efetuam muitas das funções secundárias que os peritos executam, como perguntar questões relevantes e explicar suas razões.

Para Corredor, [11] os referidos sistemas são programas com capacidade para processar grande quantidade de informação simbólica, realizar processos de inferência e busca heurística, justificar perguntas e respostas durante um processo de consultas e fornecer respostas da forma mais aproximada possível do especialista na área.

De acordo com Passos, [2] um Sistema Especialista é um programa de computador destinado a solucionar problemas em um campo específico do conhecimento, que tem para isso uma base de conhecimento desse domínio restrito. Usa um raciocínio inferencial para executar tarefas e tem desempenho comparável ao dos especialistas humanos. Na prática, uma das mais importantes características deste sistemas é a capacidade de explicação. Esta característica pode ser usada para ensinar pessoas que não são especialistas no assunto específico, que está sendo tratado pelo sistema.

## 2.4.2 - Generalidades

Conforme Hayes-Roth et al. apud Waterman,[1] no início, o projeto e a construção de um Sistema Especialista era considerado mais uma tarefa artística do que uma atividade científica. Agora, entretanto, o processo é melhor entendido e mais claramente definido, devido em parte aos esforços de mais de 40 cientistas da área de Inteligência Artificial, que colaboraram no volume embrionário denominado, "Construção de Sistemas Especialistas", um livro que organiza o estado da arte e descreve o uso de diferentes técnicas de construção destes sistemas, sobre problemas comuns.

O processo de construção destes sistemas é freqüentemente chamado de Engenharia do Conhecimento. Isto envolve uma forma especial de interação entre o construtor do Sistema Especialista, denominado engenheiro do conhecimento e um ou mais especialistas humanos, em alguma área problemática. O engenheiro do conhecimento "extrai" do especialista humano, seus procedimentos, estratégias, regras baseadas na prática (heurísticas), para a resolução de problemas, e constrói este conhecimento dentro do sistema. O resultado é um programa que resolve a maioria dos problemas da mesma maneira que o especialista humano.

Conforme Bandyopadhyay, [13] a tecnologia de tais sistemas, emerge rapidamente do uso em laboratórios experimentais para usos práticos gerais. Estas aplicações incluem todos os campos da engenharia, medicina, administração, marketing, etc.

Uma das maiores razões para a popularidade destes sistemas poderia ser atribuída ao desenvolvimento de numerosas **shells** (interfaces mais simples com os usuários) dentro dos Sistemas Especialistas. Realmente, eles eliminaram a necessidade de programar durante o desenvolvimento do sistema. Com a **shell**, o projetista pode concentrar-se no desenvolvimento da lógica e da base de conhecimentos. A **shell** fornece um motor de inferência pronto, capaz de processar qualquer conjunto de regras específicas, de acordo com a condição pré-

estabelecida.

Este sucesso aparente da aplicação profissional deve ser considerado para instrumentos efetivos de ensino. Contudo, os computadores ainda terão de ser totalmente explorados para ensinar os princípios da engenharia gráfica. O uso da tecnologia dos Sistemas Especialistas, pode preencher algumas destas necessidades.

Quando a linguagem de programação serve como ferramenta de desenvolvimento, esta é usada para planejar o software da máquina de inferência. Com esta ferramenta o projetista tem grande flexibilidade na definição da interface com o usuário do Sistema Especialista, no mecanismo de representação das regras e no processo de inferência.

#### 2.4.3 - Arquitetura e descrição

Segundo Corredor, [11] os Sistemas Especialistas possuem os seguintes componentes básicos, conforme mostra a figura 3.

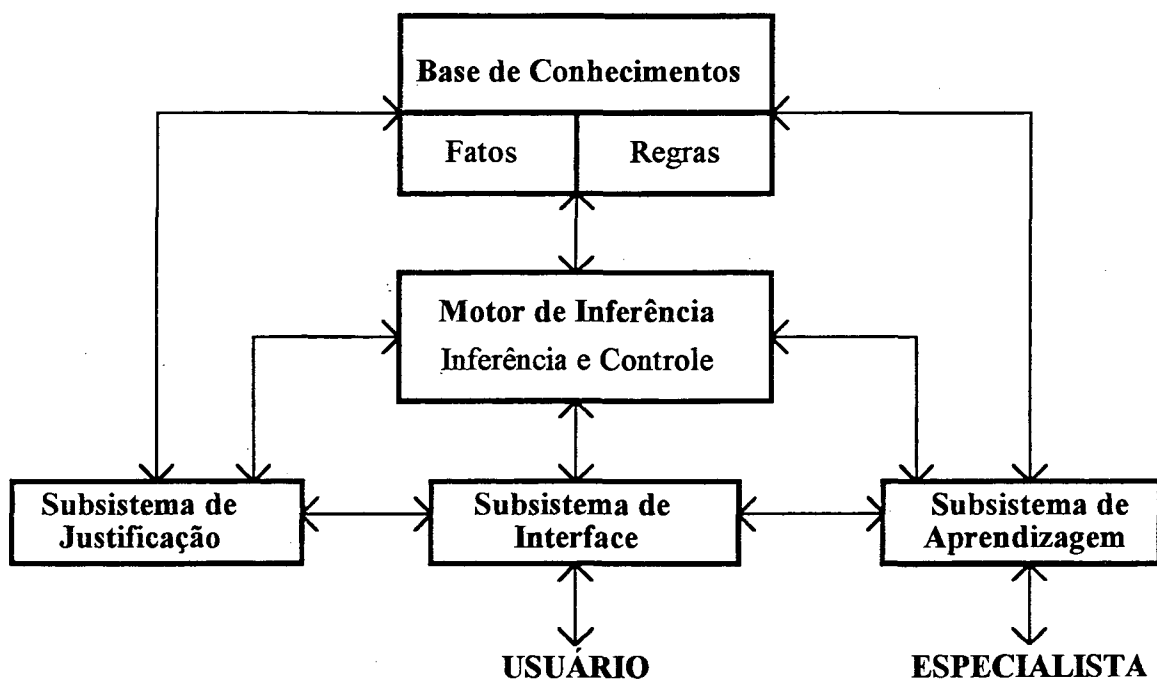


Fig. 3 - Arquitetura de um Sistema Especialista.[11]

Cada componente desempenha determinadas funções, as quais serão descritas a seguir.

- **Base de Conhecimentos:** é o componente do sistema que contém todo o conhecimento do tema a ser tratado. Este conhecimento é organizado em:

- base de fatos, que são os conceitos conhecidos, pontos de partida e propriedades que são deduzidas;
- base de regras, que são os conhecimentos e heurísticas desenvolvidas pelo especialista.

- **Motor de Inferência:** é o responsável pelo mecanismo lógico de raciocínio e as estratégias de controle para deduzir respostas e justificar soluções obtidas;

- **Subsistema de Justificação:** é o encarregado de explicar como se obteve uma resposta, de justificar determinado procedimento e do porquê da solicitação de certos dados, durante um processo de inferência;

- **Subsistema de Interface:** é o componente do sistema que permite a comunicação com o usuário;

- **Subsistema de Aprendizagem:** é o encarregado de interagir com o especialista com a finalidade de atualizar a base de conhecimentos.

#### 2.4.4 - Aquisição de Conhecimento

Do ponto de vista histórico, a aquisição de conhecimentos para os Sistemas Especialistas, conheceu várias etapas. Desde a noção de tais sistemas, nos meados dos anos 70, a aquisição de conhecimentos (falava-se mais especificamente em transferência de habilidades), apresenta-se como um dos problemas fundamentais.

As primeiras tentativas de solução deste problemas, consistiram em introduzir entre os especialistas e o sistema, um mediador especialista de conhecimentos, chamado de Engenheiro do Conhecimento. O Engenheiro do Conhecimento é o responsável pelo projeto e implementação do Sistema Especialista. Normalmente, compete a ele uma das tarefas mais difíceis no desenvolvimento destes sistemas, a aquisição do conhecimento. O processo de aquisição do conhecimento, consiste na extração do conhecimento do especialista, o qual fornece o conhecimento de uma área específica ao sistema. O terceiro elemento envolvido no sistema é o usuário final, que o utiliza para obter os resultados desejados.

No estágio preliminar de desenvolvimento do sistema, o Engenheiro do Conhecimento deverá introduzir-se no domínio e familiarizar-se com ele. É necessário a consulta de livros, manuais, normas, como fontes de conhecimento para fornecer uma visão geral do domínio, seus termos e como ele é organizado, antes de iniciar a pesquisa com o especialista. Desta maneira, ele provavelmente conseguirá identificar as regras e fatos que o especialista utiliza para resolver os problemas.

Genericamente, a aquisição de conhecimento tem como objetivo a transferência e a transformação do conhecimento de alguma fonte, freqüentemente humana, para um programa de computador. Considerando que esta tarefa é feita por pessoas, então algum conhecimento de psicologia é requerido para entender sua estrutura. O método da Engenharia do Conhecimento tem sido influenciado pelo conhecimento da psicologia da memória humana e o processo de informação durante a realização da tarefa, engenharia de software, a psicologia da auto-descrição e recordação e a teoria de gerência de projetos.

[ O produto da aquisição do conhecimento /será a representação do conhecimento relevante para a tarefa e o processo que opera sobre o conhecimento/ (por exemplo, as estratégias de inferência), que podem ser usados como uma base para o projeto e implementação de um sistema baseado em conhecimento.

A seguir, serão descritas pela ordem, algumas considerações sobre as dificuldades, as recomendações e sobre os métodos utilizados para extração do conhecimento, necessários para implementação de um Sistema Especialista.

- **Dificuldades:** as dificuldades na enunciação dos conhecimentos residem em quatro pontos:

- O conhecimento do especialista é compilado, isto significa dizer que o treinamento leva os especialistas, a tornar reflexo os procedimentos de raciocínio;
- O conhecimento do especialista é subjetivo, isto é, cada perito possui uma visão muito especializado do domínio de aplicações. Ele constrói um certo saber-fazer, que ele utiliza "por que isto funciona". São os denominados processos heurísticos;
- O conhecimento do especialista é volátil, ou seja, em área de ponta e de permanente evolução, se uma habilidade não for utilizada, este saber-fazer pode ser facilmente esquecido;
- O conhecimento do especialista é repartido. Diversos especialistas detém cada um, uma habilidade parcial que é interessante, muitas vezes, reagrupar. A possibilidade de se dispor, para um problema dado, da habilidade de vários especialistas, representados por suas bases de conhecimentos, deve permitir melhorar a qualidade do resultado obtido. O resultado é mais completo mais seguro e mais preciso.

- **Recomendações:** o Engenheiro do Conhecimento deverá mostrar que tem competência técnica para extrair e analisar o conhecimento. No primeiro contato com o especialista, o engenheiro deverá deixar claro: o que é um sistema baseado no conhecimento, suas implicações no ambiente de trabalho, quanto tempo e esforço é requerido, o que se espera dele, que o sistema terá desempenho limitado, como a cooperação afetará suas relações com seus colegas e seus superiores, qual será sua remuneração e finalmente, que ele tem uma escolha real de cooperar ou não. Com relação ao especialista, este deve ser escolhido com muito critério e além dos critérios óbvios para esta seleção, tais como, perícia e boa vontade. Releva dispensar atenção especial ao quesito disponibilidade, pois a própria condição de

peritos tende a fazer destas pessoas muito ocupadas e o êxito da aquisição de conhecimentos, está condicionado a um processo de interação estreita e intensa entre o engenheiro do conhecimento e o especialista. As principais habilidades requeridas para o engenheiro do conhecimento são paciência e facilidade para comunicar-se com o especialista. No entanto, outras podem ser citadas: tato e diplomacia, empatia, versatilidade, criatividade e inteligência, além de ser lógico, persistente e ter uma visão global do assunto. De acordo com Diaper apud Weber, [14] as recomendações a seguir, são aplicáveis genericamente quando se tratar de sessões para a aquisição do conhecimento, com especialista humano.

- não mais que uma ocasião de coleta de informações com o mesmo especialista em uma semana;
- uma ocasião não deve durar mais que três horas;
- sessões podem ser divididas em períodos com 2/3 de extração de conhecimentos e 1/3 de outros assuntos;
- processar previamente os resultados da análise inicial ou de uma sessão anterior, antes de iniciar nova sessão;
- cada sessão deverá ter uma duração máxima de 60 minutos;
- acautelar-se de inadvertidamente citar pontos de vista de outros especialistas;
- sempre usar as mesmas técnicas na mesma ordem, para diferentes especialistas;
- garantir conveniência e consistência no ambiente.

- **Métodos de Extração de Conhecimento:** os métodos para extração se dividem em duas grandes categorias: os Métodos Cognitivos e os Métodos Informatizados. Os Métodos Cognitivos incluem, as entrevistas, o brainwritting, a análise de protocolos e a observação direta. A Entrevista é a técnica mais comumente utilizada para extração de conhecimentos e também é conhecida como questionamento, uma vez que o principal tipo de interação é a colocação de perguntas pelo entrevistante (engenheiro do conhecimento) e a resposta pelo entrevistado (especialista). É imperativo que o engenheiro do conhecimento, domine o vocabulário próprio do domínio a fim de melhor entender as informações que lhe são passadas



pelo especialista. Esta técnica pode assumir dois tipos:

- Entrevistas inestruturada: tomam a forma de diálogos livres onde são feitas perguntas do tipo **open-ended**, acerca do conhecimento e estratégias de raciocínio do especialista;
- Entrevistas semi-estruturadas: elas tem um número de características definidas, envolvendo pré-planejamento cuidadoso das perguntas, de sua ordem e especificações das coisas que o entrevistado deve ou não fazer.

O **Brainwriting** é um método que permite a produção de idéias entre um grupo de pessoas. Este método pode ser utilizado para estimular um grupo de especialistas no objetivo de formalizar suas habilidades sobre um determinado assunto. O método de Análise de Protocolos, consiste no registro de protocolos verbais, (pede-se para o especialista "pensar alto") em situação de trabalho. Para se realizar este tipo de experiência, um roteiro de simulação deve ser montado à priori, por um especialista do domínio em questão. O método de Observação Direta é uma generalização dos métodos precedentes. Ele se utiliza de métodos de registro em vídeo. As observações tem como objetivo as tarefas efetuadas, os dados e documentos utilizados, as ações produzidas, etc. Em relação a segunda categoria de métodos de extração de conhecimento, tem-se os métodos informatizados, que tem várias formas e se utilizam de diversas técnicas. Tem-se, por exemplo, o **Brainwriting Informatizado**, o **ETS (Expertise Transfer System)**, Abordagem Pensamento Visual, etc.


Conclui-se a partir do exposto, que a criação e a manutenção de uma base de conhecimentos é tarefa complexa e delicada. Ao contrário do que possa parecer, implantar e atualizar uma base de regras não é simplesmente um questão de suprimir ou acrescentar uma regra; a mera adição descuidada de uma regra pode produzir resultados imprevisíveis e mesmo fazer com que o sistema, por assim dizer, perca a inteligência.

O Engenheiro do Conhecimento, que é o intermediário entre o especialista e o sistema informático é também, uma espécie de filtro de informações. A dificuldade da tarefa deste engenheiro, reside no fato de ele ter que ser, ao mesmo tempo, um bom analista de sistemas e

ter um bom conhecimento do domínio estudado. Infelizmente, estas duas competências são algumas vezes contraditórias.

#### 2.4.5 - Representação do Conhecimento

Prevê-se como necessário, uma ferramenta para desenvolvimento de Sistemas Especialistas, na qual a representação do conhecimento possa ser caracterizada, de acordo com uma das formas empregadas na Inteligência Artificial.

- 
- Representação por Lógica Matemática;
  - Representação por Regras de Produção;
  - Representação por Redes Semânticas;
  - Representação por Quadros e Roteiros (Frames e Scripts).

*O. Objeto*

Estas maneiras de codificar o conhecimento, serão descritas a seguir e foram baseadas em Passos. [2]

- **Representação por Lógica Matemática:** esta forma de representação do conhecimento, pode ser baseada na Lógica Proposicional ou na Lógica dos Predicados, conforme segue:

- **Lógica Proposicional:** a Lógica, que é o estudo matemático e filosófico mais antigo sobre a natureza do raciocínio e do conhecimento, foi um dos primeiros esquemas de representação usados em Inteligência Artificial. A forma mais simples de lógica é a lógica proposicional. Nela as expressões são chamadas de proposições que podem tomar dois valores possíveis: falso ou verdadeiro. As proposições simples podem ser combinadas através de conectores lógicos para formar proposições compostas. Existem cinco conectores lógicos: "E", "OU", "NÃO", "IMPLICA" e "EQUIVALÊNCIA"; os seus símbolos são " $\wedge$ ", " $\vee$ ", " $\neg$ ", "

$\Rightarrow$  e " $\Leftrightarrow$ " respectivamente.

• **Lógica dos Predicados ou de Primeira Ordem:** entretanto, segundo Passos, [2] para os propósitos da Inteligência Artificial a lógica de proposições não é muito útil. Para poder representar apropriadamente o conhecimento com algum formalismo, deve-se poder expressar não somente proposições verdadeiras ou falsas, mas também expressar ou descrever objetos e generalizações sobre classes de objetos. A Lógica de Primeira Ordem ou como também é denominada, Lógica dos Predicados, satisfaz esses objetivos. A maior vantagem dessa forma de representação é a facilidade de manipular e deduzir novos fatos a partir de fatos já conhecidos. A maior desvantagem é a dificuldade para determinar quais fatos podem ser relevantes durante um processo ou não. Como exemplo tem-se:

"As únicas linguagens de programação admitidas no momento são FORTRAN, COBOL, PASCAL, C, PROLOG e LISP".

$\forall x. \forall y ( \text{programa}, (x,y) \Rightarrow ( y = \text{fortran} \vee y = \text{cobol} \vee y = \text{pascal} \vee y = c \vee y = \text{prolog} \vee y = \text{lisp} ) )$

Portanto, verifica-se como passar de uma descrição de um problema para representação em Lógica. Essa representação será usada pelo motor de inferência para fazer suas deduções lógicas.

- **Representação por Regras de Produção:** esta forma de representar conhecimentos é a mais utilizada nos diversos Sistemas Especialistas existentes no mercado mundial. O conhecimento é representado através de pares Condição-Ação. As regras (base de conhecimento) têm duas partes: Uma antecedente ("se") e outra conseqüente ("então"). Como exemplo, tem-se:

Regra N

(se) a norma utilizada é a NBR 10126 da ABNT;

(então) refere-se a Norma de Cotação em Desenho Técnico.

Durante a execução do sistema, se a parte esquerda de uma produção for satisfeita, ela pode disparar, isto é, a ação indicada pelo lado direito pode disparar. Há duas maneiras pelas

quais as regras podem ser deduzidas em um sistema baseado em regras: um é o chamado encadeamento para frente (ou dirigido para o dado) e outro é chamado de encadeamento para trás (ou dirigido para o objetivo). O primeiro é um método de inferência (de dedução) que começa com o conhecimento inicial (dados, fatos) e aplica as regras para gerar um novo conhecimento, até que tenha chegado a uma solução para o problema ou nenhuma inferência adicional possa ser feita. Neste método, aplicar uma regra significa comparar os fatos conhecidos com as condições especificadas em sua parte (se); se as condições são verificadas verdadeiras, então pode ter sido gerado um fato novo constante da conclusão (então). O segundo método de inferência, encadeamento para trás, começa com o objetivo que se quer provar e que é recursivamente particionado em sub-objetivos mais simples, até que um solução é encontrada ou todos os objetivos foram particionados em seus componentes mais simples. Neste método a aplicação de uma regra consiste em comparar sua conclusão, que contém o que se quer provar, com os fatos conhecidos; se o fato não é conhecido, repete-se o procedimento com outras regras que contenham na conclusão (parte então) e as condições (parte se) da regra anterior, cuja conclusão ainda não foi verificada. Observa-se pelos exemplos anteriores, que a estrutura das regras de produção é muito parecida, com o modo das pessoas falarem sobre como resolvem seus problemas. Talvez seja esse o motivo da utilização, em grande escala, da representação de conhecimento através das Regras de Produção.

- **Representação por Redes Semânticas:** a representação do conhecimento, através de redes semânticas, é uma tentativa de simular o modelo psicológico da memória associativa humana. Ela modela o conhecimento como um conjunto de pontos chamados nós ou nodos, conectados por ligações chamadas arcos, que descrevem as relações entre os nós. Por exemplo, para representar "Linha de cota é um elemento de cotagem", verificar a figura 4a.



Fig. 4a - Redes semânticas.

Para representar "Toda linha de cota tem linhas contínuas e um elemento de cotagem é um método de execução", verificar a figura 4b.

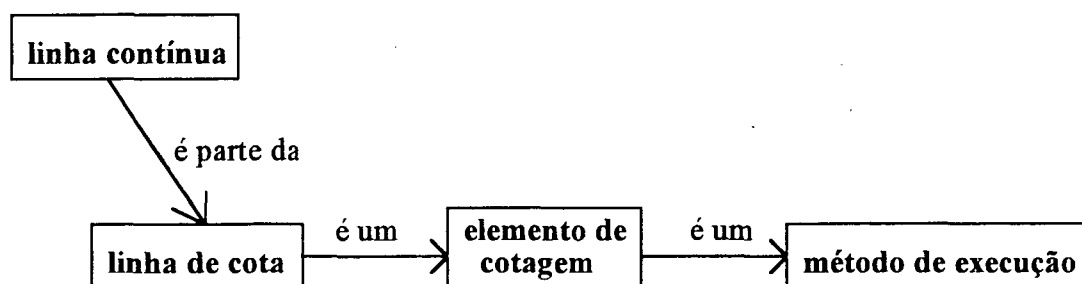


Fig. 4b - Redes semânticas.

Os nós representam objetos, conceitos ou eventos. Os arcos em geral dependem da espécie de conhecimento que está sendo representado; por exemplo, *é um* e *é parte* são arcos para representar hierarquia entre objetos. Uma característica chave da representação de rede semântica é que importantes associações podem ser feitas explicitamente e sucintamente. Fatos importantes sobre um objeto ou conceito podem ser deduzidos dos nós aos quais eles estão ligados diretamente, sem uma pesquisa no contexto. A interpretação semântica das estruturas da rede depende somente do programa que as manipulem. Não existe nenhuma convenção sobre seus significados. Inferências tiradas pela manipulação da rede só são seguramente válidas, na representação baseada em lógica. Numa representação de conhecimento por redes semânticas sabe-se que os nodos representam objetos ou conceitos e uma ligação entre dois nodos significa um relacionamento específico entre os objetos (ou conceitos) correspondentes. Sabe-se também, que a escolha dessa ou daquela representação de conhecimento tem por objetivo selecionar a que melhor permita recuperar ou inferir conhecimentos. No caso de rede semântica, recuperar um conhecimento pode envolver pesquisas na rede inteira. Se o fato que se deseja recuperar não está armazenado explicitamente, ter-se-á que deduzí-lo dos fatos que lá estão. Programas que fazem essa recuperação sempre gastam muito de seu tempo repetindo umas poucas operações básicas, lógica dos conjuntos, classificação, combinação de padrões contra um conjunto de asserções e deduções de fatos dessas redes semânticas. Uma melhora

acentuada da velocidade, pode ser obtida pela execução dessas operações simultaneamente em todos os nodos da rede. Atribui-se cada nodo a um processador e a interconexão entre eles, será flexível bastante, para representar os relacionamentos entre os conceitos correspondentes. Máquinas paralelas seriam ideais para este fim.

- **Representação por Quadros e Roteiros:** acredita-se que as pessoas usem conhecimentos adquiridos em experiências prévias ao interpretar situações novas; certos objetos e sequências, por exemplo, quando se vai a um laboratório de CAD, o qual não tinha sido visitado anteriormente, já conhece-se os "quadros" (frames) que serão presenciados - computadores, impressoras, disquetes, monitores coloridos, cadeiras, etc., - também conhece-se o "roteiro" (scripts) de uma aula de desenho técnico através de aplicativos de CAD - devem entrar na sala o professor ou professores, os alunos, após deve-se ligar os computadores e inicia-se a aula - são expectativas que constrói-se na mente, de cada integrante do script. (Em Inteligência Artificial, esse tipo de conhecimento tem sido apresentado através de quadros e roteiros. A atividade cognitiva do ser humano, que usa experiências anteriores para interpretar nova situação, seleciona da memória uma estrutura, chamada quadro, que será adaptada à nova situação, pela mudança de detalhes, quando necessário. Um quadro é uma estrutura de dados para representar um conceito ou uma situação estereotipada, como entrar em uma sala de estar ou ir a uma festa de aniversário de uma criança. Junto a cada quadro existem vários tipos de informações. Algumas destas informações são sobre como usar o quadro, outras sobre o que se pode esperar que aconteça a seguir e ainda sobre o que fazer se estas expectativas não forem confirmadas. O mecanismo representacional que possibilita o tipo de raciocínio baseado em expectativas é o campo, o local onde o conhecimento ajusta-se ao contexto criado pelo quadro. [A Representação do Conhecimento feita por quadros e roteiros é apropriada na interpretação de uma sequência específica observada e é útil para prever a ocorrência de certos acontecimentos que não foram mencionados. Além disso serve para indicar como os acontecimentos mencionados se relacionam entre si. Quadros podem ser organizados, como uma rede semântica, isto é, uma rede de nós e relações organizadas em hierarquia, onde os nós

superiores, representam conceitos gerais e os inferiores exemplos mais específicos desses conceitos. Em um sistema de representação de conhecimento usando quadros o conceito de cada nó é definido pela coleção de atributos (avaliação, correta), onde os atributos são chamados campos (slots). Cada campo pode ter procedimentos associados que são executados segundo o que foi descrito anteriormente. Esses procedimentos associados podem monitorar a atribuição de informação ao nó, assegurando que a ação apropriada é realizada quando os valores mudam.

#### **2.4.6 - Etapas do Desenvolvimento**

De acordo com Weiss e Kulikowski, [15] a chave do sucesso na criação de um Sistema Especialista é começar de maneira simples e crescer, por incrementos, até um sistema consistente e significativo. A validade empírica deve ser consumada à medida que as várias etapas do aperfeiçoamento prosseguem. Segundo a experiência dos autores, várias fases do desenvolvimento de sistemas deste tipo podem ser abstraídas, porém elas representam orientações gerais e não devem ser interpretadas como uma seqüência obrigatória na criação de um Sistema Especialista.

As várias etapas de criação de tais sistemas, serão descritas a seguir.

##### **- Etapa Inicial do Projeto da Base de Conhecimentos**

Compreende três subetapas principais:

- **Definição do Problema:** a especificação dos objetivos, imposições, recursos, participantes e suas respectivas funções;
- **Conceituação:** a descrição pormenorizada do problema e de como dividi-lo em subproblemas; quais são os elementos de cada um deles em termos de hipóteses, dados e

conceitos de raciocínios intermediários; como estas conceituações afetam a implantação em potencial;

- **Representação do Problema em Computador:** a escolha específica de uma representação para os elementos identificados durante a fase de conceituação; a primeira fase a ser implantada no computador. As considerações sobre o fluxo das informações e a articulação dos conceitos e das informações serão levantadas mais completamente nesta etapa.

#### **- Etapa do Desenvolvimento e Teste do Protótipo**

Uma vez escolhida a representação, podemos começar a implantação do protótipo de um subconjunto do conhecimento necessário para o sistema completo. A seleção do subconhecimento é crucial; deve incluir uma amostra representativa do conhecimento que seja típica de todo o modelo, embora deva compreender subtarefas e raciocínios que sejam suficientemente simples de testar. Uma vez que o protótipo produza um raciocínio aceitável, pode ser expandido de modo a incluir variantes mais pormenorizadas do problema que deve interpretar. Em seguida, ele será testado com casos mais complexos, os quais serão usados como um conjunto normal de teste nos refinamentos subseqüentes da base de conhecimentos. Muitos ajustes dos elementos iniciais e das respectivas relações serão reunidos a fim de constituírem o resultado deste teste.

#### **- Refinamento e Generalização do Banco de Conhecimentos**

Esta etapa pode tomar um tempo considerável se desejarmos alcançar níveis muito altos de desempenho. Contudo, algumas vezes é possível obter desempenho bastante proficiente em especialidades limitadas com apenas alguns meses de trabalho.



## CAPÍTULO 3

### A SELEÇÃO DO SOFTWARE E DO HARDWARE PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO

#### 3.1 - Ferramentas Necessárias

De acordo com Genaro, [12] a construção de um Sistema Especialista pode ser grandemente facilitada quando se utilizar para tanto uma ferramenta adequada. isto é, um sistema de programação que simplifique esta tarefa. A figura 5 mostra a divisão destas ferramentas em duas categorias principais: linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento.

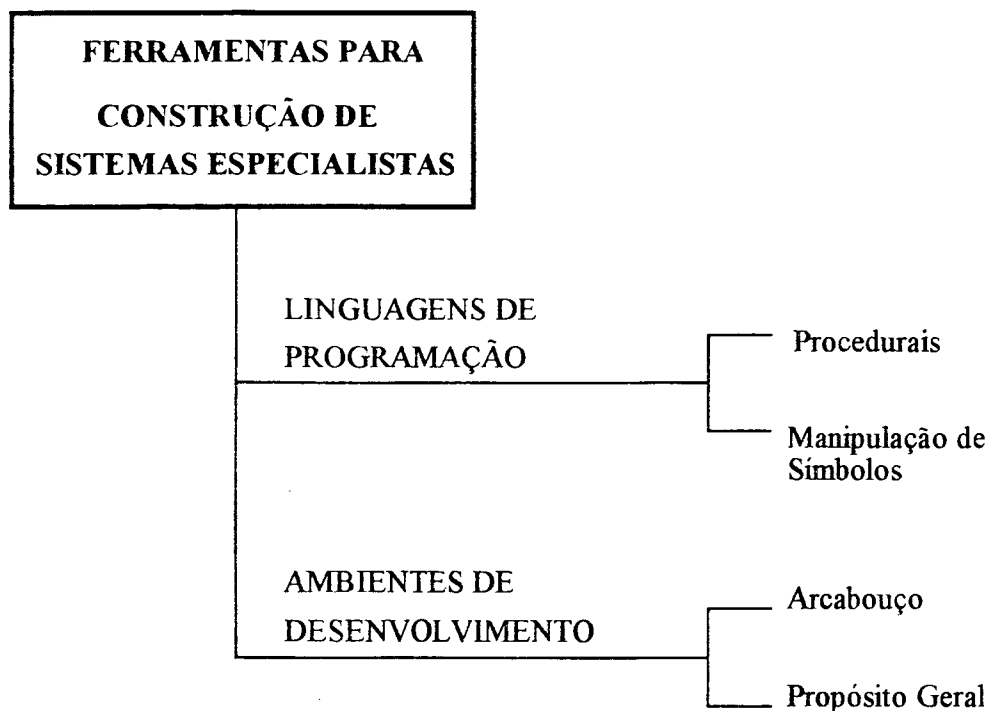


Fig. 5 -Tipos de ferramentas. [12]

Segundo o referido autor, as linguagens de programação tanto podem ser procedurais como FORTRAN ou PASCAL, quanto para manipulação de símbolos, como LISP ou PROLOG. A linguagem LISP tem um mecanismo de manipulação de símbolos numa estrutura de lista. Listas simplificam uma coleção de itens, onde cada item pode ser um símbolo ou outra lista. Estas estruturas podem suportar conceitos bastante complexos. É a linguagem mais empregada nesta área, principalmente nos Estados Unidos, embora mais recentemente o PROLOG tem ganho bastante popularidade. O PROLOG é uma linguagem para programação em lógica, cuja aplicação é bastante difundida na Europa e Japão, onde se pretende implementá-la em hardware.

As primeiras linguagens de construção integradas com ferramentas de suporte, derivaram de Sistemas Especialistas de sucesso. Foram retiradas as bases de conhecimento específicas, restando a máquina de inferência e os recursos de suporte. Tais ferramentas são denominadas linguagens de arcabouço para engenharia de conhecimento, das quais a mais famosa é o EMYCIN.

As linguagens de propósito geral, por sua vez, podem manusear diferentes áreas ou tipos de problemas, provendo maior controle sobre acesso a dados e pesquisa, sendo mais flexível, embora muitas vezes mais difíceis de usar.

### 3.2 - Ferramentas Específicas e Modelo Inicial

O software utilizado para auxiliar na construção do protótipo do sistema especialista foi o Kappa-PC, versão 2.0 da Intellicorp Inc.[16] Ele foi escolhido com base nas razões descritas no próximo item deste Capítulo e é uma ferramenta para construção de Sistemas Especialistas pertencente ao segundo grupo da classificação anteriormente referida (ver figura 5).

Este software, dispõe de uma grande gama de ferramentas para construção e uso de sistemas baseados no conhecimento. Neste sistema, os componentes de seu domínio são representados por estruturas chamadas objetos. Objetos podem ser tanto classes ou instâncias das classes. Eles podem representar coisas concretas ou conceitos intangíveis. O relacionamento entre os objetos num modelo, pode ser representado pela ligação entre eles dentro de uma estrutura chamada hierarquia.

Pode-se usar ferramentas de programação orientada à objetos, para dotar estes objetos com métodos (isto é, programas herdados) os quais, especificam o que estes objetos podem fazer. Desde que se construa os objetos e os métodos para uma base de conhecimentos, pode-se construir sistemas que especificam como os objetos se comportarão.

Na programação baseada em regras, cada regra especifica um conjunto de condições e um conjunto de conclusões, para ser verificada se as condições são verdadeiras. As conclusões podem representar deduções lógicas sobre a base de conhecimentos ou especificações sobre como isto muda ao longo do tempo. Cada regra é um módulo relativamente independente, portanto, pode-se construir gradualmente, sistemas de raciocínio, regra por regra. As regras podem ser utilizadas, de duas maneiras distintas:

- **Forward Chaining** ou Encadeamento para Frente; <sup>ou direta</sup>
- **Backward Chaining** ou Encadeamento para Trás.

No Encadeamento para Frente, as conclusões são determinadas à partir de fatos conhecidos e estas conclusões tornam-se fatos, a partir dos quais determinam outras conclusões, ou seja, este tipo de encadeamento é usado para descobrir consequências de novos fatos.

No Encadeamento para Trás, uma conclusão desejada é especificada e as condições das

regras são utilizadas para determinar se a conclusão é verdadeira ou como isto pode se tornar verdade, ou seja, neste tipo de encadeamento, a prova da hipótese é buscada na base de conhecimentos.

De acordo com Passos, [2] para utilizar as regras necessita-se combiná-las para fazer as inferências. Fazer uma inferência é provar uma conclusão ou hipótese. Aplicações desenvolvidas com o **Kappa**, podem desempenhar duas tarefas importantes:

- Auxiliar na tomada de decisões do homem. Porém, elas não o substituem. Desta maneira, a aplicação habilitará o usuário para entender como um resultado ou uma decisão proposta foi derivada;
- Ser utilizada para aprendizagem. Um usuário pode examinar partes de um domínio, o qual é inacessível no mundo real e conduzir experimentos que são perigosos, caros, impraticáveis ou impossíveis na realidade.

Para construir modelos baseados no conhecimento, precisa-se de ferramentas para a representação dos objetos, as "coisas" no mundo e processos, o comportamento das coisas no mundo. No **Kappa**, classes e instâncias são usadas para representar coisas. A programação orientada à objetos e as regras são utilizadas para representar os objetos.

A programação orientada à objetos é usada para representar o comportamento de objetos individuais. Regras são usadas para representar o raciocínio "se-então", o qual pode ou não descrever objetos individuais. Frequentemente isto envolve o relacionamento entre objetos.

Além de prover ferramentas para construção dos modelos, o **Kappa**, dispõe de ferramentas para desenvolvimento e customização de interfaces com o usuário, num sistema baseado em conhecimento. Em particular, esta ferramenta facilita a abordagem do raciocínio

baseado em modelos, que é mais flexível do que a abordagem baseada em regras dos sistemas especialistas clássicos. Para resumir, pode-se dizer que esta ferramenta cobre os seguintes pontos:

- Modelos que representam a estrutura profunda de um domínio e podem proporcionar a essência para múltiplas aplicações;
- A estrutura e os componentes de um domínio são representados através de objetos, enquanto que os processos são representados através de regras ou da programação orientada ao objeto;
- Além de janelas e menus, este aplicativo dispõe de facilidades em sua interface, para imagens gráficas;
- Este software é apropriado para uma grande gama de domínios, desde os mais simples até os mais complexos, onde múltiplos componentes tem muitas interações possíveis;
- O **Kappa** armazena e processa mais conhecimento do que dados. Devido a sua representação flexível, o conhecimento pode ser adaptado para múltiplos propósitos e pode ser claramente comunicado para o usuário.

Devido ao sistema requerer também, a representação de desenhos técnicos de precisão, relativos as normas de dimensionamento, tornou-se necessário a utilização de uma ferramenta auxiliar de CAD, que tenha bom desempenho, principalmente, em 2D. É necessário também, que exista uma compatibilidade desta ferramenta com o **Kappa**, visando o intercâmbio dos desenhos gerados no software de CAD.

Este aplicativo é necessário, porque a ferramenta empregada para o desenvolvimento do Sistema Especialista, não dispõe de maiores recursos para elaboração dos gráficos, porém permite a importação de imagens no formato padrão bitmap (.bmp). Portanto, cria-se uma imagem gráfica no aplicativo de CAD e em seguida é efetuada a importação desta imagem, para o **Kappa**.

Com o editor de gráficos **Paintbrush**, do **software Microsoft Windows**, versão 3.1, consegue-se editar os desenhos, porém, sem maior precisão.

Tornou-se necessário então, buscar um **software** gráfico, compatível com este ambiente. Após bastante pesquisa, chegou-se a conclusão que o aplicativo recomendado seria o **AutoCAD for Windows, Release 12** da empresa norte-americana **AutoDesk Inc.**

Todavia, devido ao seu recente lançamento, seu alto custo, aliada a indisponibilidade no presente, para alunos deste Programa de Pós-Graduação, a intenção é fazer o desenvolvimento do protótipo de Sistema Especialista, com o auxílio do **Kappa PC-v.2.0** e do **AutoCAD for Windows, Release 11**, que também pode oferecer bons resultados, dentro do objetivo a ser alcançado.

A escolha do **AutoCAD** foi determinada, principalmente, por ser este o programa considerado como padrão da indústria para os projetos/desenhos auxiliados por computador (**CAD/CADD-Computer-Aided Design/Drafting**).

Para Cohn et al. [17], as capacidades avançadas de geração de modelos e dimensionamento, transformam o programa numa ferramenta ideal para projetos teóricos.

Com a escolha destas duas ferramentas, vislumbrou-se a possibilidade de viabilizar o modelo inicial do Sistema Especialista conjugado a um Sistema CAD, para avaliar e diagnosticar os conhecimentos de um estudante sobre cotação no Desenho Técnico.

### 3.3 - Critérios Utilizados

Serão descritos à seguir os critérios que determinaram a escolha das ferramentas de desenvolvimento do modelo pretendido, ou seja, um Sistema Especialista conjugado a um

sistema CAD.

### **3.3.1 - Critérios para Escolha do Software para Construção do Sistema Especialista**

Os critérios utilizados foram: a disponibilidade deste software no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e a familiaridade com este programa, pois já dispunha de treinamento no **Kappa-PC** v.1.2. A ferramenta escolhida, o **Kappa-PC**, versão 2.0 é bastante atual, pois foi lançada no ano de 1992 e é um aperfeiçoamento da versão anterior. Este aplicativo é desenvolvido através do conceito de programação orientada à objetos e é compatível com programas em linguagem "C", o que se caracteriza como uma vantagem, para compor este trabalho.

### **3.3.2 - Critérios para Escolha do Software de CAD**

Foi estabelecido como necessário uma matriz de decisão, que permitiu a seleção do software de CAD, mais adequado para o desenvolvimento do modelo pretendido. A pesquisa foi demarcada pelos aplicativos mais utilizados na área e disponíveis na UFSC, mais especificamente, no curso de Pós-Graduação em Desenho, do Departamento de Expressão Gráfica. A decisão sobre o programa de melhor performance, foi determinada à partir da comparação do seu desempenho, em relação a onze critérios obrigatórios estabelecidos. Alguns critérios desejáveis, também, foram previstos. Para cada critério obrigatório, foi estabelecido um determinado peso, variando de 0 a 10. Serão apresentados a seguir, os critérios utilizados, bem como a matriz de decisão.

#### **- Critérios Obrigatórios**

- Permitir a cotação dos desenhos, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT;

- Ser disponível na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC;
- Dispor de uma interface gráfica que facilite a interação com o usuário;
- Permitir a transferência de desenhos, através de arquivos no formato padrão **bitmap**;
- Apresentar um custo acessível;
- Dispor de técnicas de modelagem geométrica avançadas, principalmente em 2D;
- Permitir rapidez na geração dos desenhos;
- Dispor de uma bibliografia de fácil acesso;
- Possibilitar um treinamento fácil;
- Permitir sua utilização para execução de atividades em outras áreas de aplicação, tais como, CNC, Simulação, etc;
- Apresentar uma boa confiabilidade.

#### **- Critérios desejáveis**

- Permitir a cotação com tolerâncias;
- Permitir a cotação funcional;
- Possibilitar a modelagem de objetos sólidos em 3D;
- Permitir que as linhas de cotas e seus valores dimensionais sejam ligadas a variáveis;
- Dispor ou permitir a construção de bibliotecas de simbologia específicas;
- Trabalhar com várias cores, várias espessuras de linhas, diversas fontes de letras, vários formatos de folhas;
- Permitir conexões com banco de dados, com o objetivo de geração de material descritivo, tais como: listas de materiais, planilhas de custos, etc;
- Permitir o funcionamento em rede;
- Ser compatível com outros sistemas CAD;
- Possibilitar a integração direta com sistemas CAM;
- Dispor de comandos em português;
- Dispor de recursos de ajuda **on-line**;
- Permitir customização;



- Apresentar portabilidade, isto é, trabalhar em várias plataformas e com vários sistemas operacionais.

### - Matriz de Decisão

Esta matriz foi composta por quatro softwares de CAD, onde procurou-se comparar o desempenho de cada um destes programas, em relação aos critérios obrigatórios determinados (ver figura 6).

SOFTWARE	PESO	AutoCAD for DOS R.10		AutoCAD for Windows R.11		MicroSta- tion PC v.4		DesignCAD 3D- v.4	
Fabricante		AutoDesk Inc.		AutoDesk Inc.		Intergraph Corporation		American Small Business	
Critérios Obrigatórios	A	B	A*B	B	A*B	B	A*B	B	A*B
Compatibilidade com as normas da ABNT	10	09	90	09	90	10	100	09	90
Disponibilidade na UFSC	10	10	100	10	100	10	100	10	100
Interface com o usuário	10	08	80	09	90	10	100	08	80
Transferência de arquivos bitmap	10	0	0	10	100	10	100	08	80
Custo	08	09	72	08	64	07	56	10	80
Modelagem Geométrica em 2D	10	09	90	09	90	10	100	08	80
Rapidez na geração de desenhos	09	10	90	10	90	10	90	10	90
Disponibilidade de bibliografia	09	10	90	10	90	03	27	03	27
Facilidade de uso	09	08	72	08	72	08	72	09	81
Utilização em outras áreas de aplicação	08	09	72	09	72	10	80	09	72
Confiabilidade	10	10	100	10	100	10	100	09	90
<b>TOTAL</b>			<b>856</b>		<b>958</b>		<b>925</b>		<b>870</b>

Fig. 6 - Matriz de decisão para a escolha do software de CAD.

Para cada critério foi alocado um determinado peso (A). Em cada **software**, verificou-se através de uma pontuação compreendida entre 0 e 10, o grau de atendimento ao critério proposto (B). Finalmente, foi verificado o total de pontos ( $A*B$ ), alcançados por todos os **softwares** e escolhido o que melhor atendeu ao objetivo proposto.

A seguir, serão explicitados como se estabeleceu o valor atribuído aos pesos, utilizados para selecionar o **software** de CAD empregado na construção do modelo proposto.

- Para o critério: *Compatibilidade com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT*, foi estabelecido peso 10, visto que, a representação dos desenhos técnicos previstos nas interfaces do Sistema Especialista, deveriam estar obrigatoriamente dentro dos padrões estabelecidos pela norma NBR-10126- Cotação em Desenho Técnico e de suas normas complementares. Este critério foi considerado como um dos mais importantes, para o desenvolvimento da pesquisa;

- Para o critério: *Disponibilidade na UFSC*, foi estabelecido peso 10, devido a própria viabilização da pesquisa;

- Para o critério: *Interface com o Usuário*, foi estabelecido peso 10, visando a escolha de um **software** que fosse amigável, ou seja, que facilitasse a interpretação e o uso pelos estudantes;

- Para o critério: *Transferências de Arquivos no Formato Bitmap (bmp)*, foi estabelecido peso 10, devido ao fato de que nada adiantaria, editar os desenhos num **software** de CAD e não haver possibilidade da transferência dos mesmos para as interfaces do Kappa, o que inviabilizaria o sistema pretendido. Este foi um dos maiores problemas ocorridos no desenvolvimento da pesquisa. No programa **DesignCAD**, não houve a possibilidade de transferir os arquivos de desenho no padrão bmp e sim no padrão PCX, o

qual também é compatível com o **MS-Windows** e por sua vez com o **Kappa**;

- Para o critério: *Custo Acessível*, foi estabelecido peso 8, visto que, este é um fator que resulta em facilidade na aquisição dos programas pelas Escolas e seus usuários. Notou-se, porém que nem sempre o programa de melhor custo, tem o melhor desempenho;

- Para o critério: *Modelagem Geométrica Avançada em Desenhos Bidimensionais (2D)*, foi estabelecido peso 10, pois era muito importante que o programa escolhido, dispusesse de recursos que permitissem a execução dos desenhos técnicos de precisão necessários para o Sistema Especialista;

- Para o critério: *Rapidez na Geração de Desenhos*, foi estabelecido peso 9, devido ao fato que o tempo gasto na execução dos desenhos é de suma importância e é uma característica que os software de CAD devem oferecer porém, não é um critério de tanto valor quanto o anterior;

- Para o critério: *Disponibilidade de Bibliografia*, foi estabelecido peso 9, fundamentado na análise dos manuais dos softwares e nos livros existentes, principalmente no Brasil. O valor do peso deste critério foi determinado a partir, do grau de importância dos outros critérios;

- Para o critério: *Possibilitar Facilidade no Treinamento*, foi estabelecido peso 9, pois o mesmo está interligado com os critérios: qualidade da interface com o usuário, modelagem geométrica e com a bibliografia, sendo uma critério de análise indireta e portanto, com um peso menor;

- Para o critério: *Utilização em Outras Áreas de Aplicação*, foi estabelecido peso 8, pois o mesmo é um critério importante, porém, não tanto quanto os outros, em relação aos

objetivos da presente pesquisa;

- Para o critério: *Confiabilidade*, foi estabelecido peso 10, devido ao fabricante ter o dever de zelar pela qualidade do produto oferecido, através do esclarecimento de dúvidas, continuação do desenvolvimento do **software**, assistência técnica, etc.

Além destes critérios, imprescindíveis para o desenvolvimento da pesquisa, outras características dos **software** eram importantes e apareceram nos programas que se destacaram na análise efetuada.

Conclui-se, portanto, à partir destas considerações e da Matriz de Decisão, que o **software** de CAD mais adequado para as condições de trabalho existentes no momento, é o **AutoCAD for Windows, Release 11 da AutoDesk Inc.**, o qual, alcançou 958 pontos na análise empreendida.

### 3.3.3 - Critérios para a Escolha do Hardware Necessário

Serão descritos a seguir, os critérios obrigatórios e desejáveis, que determinaram as configurações de **hardware** recomendada e mínima, para suportar o Sistema Especialista pretendido.

#### - Critérios Obrigatórios

- Dispor de processador com clock, no mínimo, de 25 MHz;
- Disponibilidade na UFSC;
- Dispor de monitor, com placa gráfica super VGA, para 256 cores;
- Permitir rodar o **software MS-DOS v. 5.0** ou uma versão mais atualizada;

- Permitir rodar o **software MS-Windows v. 3.0** ou uma versão mais atualizada;
- Disponibilidade de co-processador matemático;
- Disponibilidade de um **mouse**;
- Dispor de espaço mínimo igual a **120 MBytes**, no disco rígido;
- Permitir boa qualidade na impressão dos desenhos;
- Dispor de **4 MB** ( no mínimo), de memória **Ram**;
- Dispor de **disk-drives** para disquetes de **3 1/2"**, com capacidade de **1.44 MBytes** e para disquetes de **5 1/4"**, com capacidade de **1.2 MBytes**.

#### - Critérios Desejáveis

- Dispor de um periférico que permita captura de imagens (**scanners**);
- Dispor de uma placa aceleradora de vídeo para **Windows**;
- Permitir impressão a cores e com bastante precisão (**plotter**).

Após a aplicação destes critérios sobre as plataformas: XT, 286, 386SX, 386DX, 486SX, 486DX, 486 DX2, todas compatíveis com o padrão IBM-PC, chegou-se às configurações recomendada e mínima, descritas a seguir.

#### - Configuração Recomendada

- Plataforma: 486 DX2 de 66 MHz;
- Monitor: SVGA colorido, com placa aceleradora para **Windows**;
- Memória RAM: 16 MB;
- Winchester: 240 MB;
- Plotter;

- Impressora colorida;
- Scanner.

#### - Configuração Mínima

- Plataforma: 386 SX de 25 MHz;
- Monitor: SVGA colorido;
- Memória RAM: 4 MB;
- Co-processador matemático;
- Winchester: 120 MB;
- Impressora matricial: 24 pinos/gráfica;

### 3.5 - Limitações

Observou-se na seleção das ferramentas à serem utilizadas, as seguintes limitações:

#### - Software Kappa PC-2.0

- Espaço limitado para interfaces ( 25);
- Obrigação dos gráficos à serem importados do aplicativo de CAD, possuírem o padrão **Bitmap** (.BMP), os quais consomem muito espaço em disco;
- Não permite a edição dos gráficos no formato BMP;
- Desempenho razoável só a partir de computadores da linha IBM-PC, com **clock** igual ou acima de 33 MHz;
- É monousuário;
- É lento para carregar os dados;
- Apresenta dificuldade para impressão das interfaces;

- Exige conhecimento do inglês técnico, apesar do usuário dispor de uma boa interface gráfica, que facilita a operação do software.

#### - Software ACADWIN R.11

- A modelagem geométrica em 2D, presente neste software, impossibilita a representação de algumas regras de dimensionamento previstas na NBR-10126 e na forma de como o especialista desenha;
- Não possui uma interface amigável com o usuário, devido a excessiva movimentação entre menus e informações digitadas via teclado. Isto acontece, mesmo para operações relativamente simples;
- Devido a limitação acima, torna-se necessário um número maior de horas de treinamento do usuário;
- É lento na regeneração de desenhos na tela, bem como, na geração de arquivos auxiliares, tal como, o de plotagem;
- Necessita de um co-processador matemático;
- Após a colocação original das cotas, torna sua modificação trabalhosa;
- É mais fácil de utilizar em desenhos bidimensionais (2D) do que em desenhos tridimensionais (3D);
- Exige do usuário, noções de inglês técnico, devido a limitação dos ícones gráficos.

## **CAPÍTULO 4**

### **O MODELO SECOTCAD**

A implementação do sistema foi baseada na fundamentação teórica, descrita no Capítulo 2 e na metodologia de criação de um Sistema Especialista, recomendadas por Weiss e Kulikowski, [15] descrita no item 2.4.6 e que agora será detalhadamente explicitada. Cabe lembrar, que a chave do sucesso na criação de tal sistema, é começar de maneira simples e crescer, por incrementos, até um sistema consistente e significativo.

#### **4.1 - Etapas de Criação**

Compreende três fases, que são as seguintes:

- Etapa inicial do projeto da Base de Conhecimentos;
- Etapa do desenvolvimento e teste do protótipo;
- Refinamento e generalização da Base de Conhecimentos.

##### **4.1.1 - Projeto da Base de Conhecimentos**

Esta etapa se subdivide-se em três fases, que são as seguintes:

- Definição do Problema;
- Conceituação;
- Representação do Problema em Computador.

- **Definição do Problema:** o modelo desenvolvido, explora a idéia de informatização do ensino do Desenho Técnico, usando a tecnologia dos Sistemas Especialistas, dos Sistemas CAD e dos Sistemas de Ensino Inteligente Assistidos por Computador. Para isto, foi implementado um Sistema Especialista, com apoio nas ferramentas acima descritas, que utiliza os conhecimentos



de um professor experiente em Desenho Técnico e o que recomenda a NBR-10126, [18] norma da ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, sobre Cotagem em Desenho Técnico. Este sistema denominado SECADCOT, simula o comportamento de um expert na área e tem por objetivo avaliar e diagnosticar o que um estudante dos cursos de Engenharia, sabe sobre os princípios gerais de dimensionamento em desenhos técnicos. A Base de Conhecimentos do sistema foi formada, com o auxílio da técnica de entrevistas, realizadas em duas sessões semanais, com duração de 1 hora cada, durante um período de 8 semanas. A aquisição do conhecimento foi realizada com o Prof. Henderson José Speck, professor adjunto do Departamento de Expressão Gráfica, da UFSC. O referido professor leciona disciplinas ligadas ao Desenho Técnico, há 15 anos, e tem como títulos os cursos de Engenharia Mecânica e o de especialização, à nível de Pós-Graduação em Desenho. As entrevistas realizadas foram do tipo semi-estruturadas, um dos métodos de extração de conhecimentos recomendados por Hoffman apud Weber[14]. O engenheiro do conhecimento, realizou um trabalho de pesquisa antecipado e além disso, também era especialista da área, dominando a terminologia e os procedimentos genéricos da área de desenho técnico. Outra fonte, para consolidação da Base de Conhecimentos, foi o que propõem os especialistas da Comissão de Desenho Técnico Geral e Desenho Técnico Mecânico, da ABNT, na norma NBR - 10126, Norma de Cotagem em Desenho Técnico. O objetivo era modelar a representação deste conhecimento, numa base de fatos e regras, para que a mesma pudesse ser utilizada por um programa de inferência, que utilizasse técnicas de Inteligência Artificial. Observa-se, neste ambiente, o envolvimento do Engenheiro do Conhecimento, no caso o próprio projetista, o Especialista do sistema, o professor de Desenho Técnico e o usuário final, à quem o sistema se destina, que são os estudantes dos vários cursos de Engenharia, Arquitetura e Matemática.

- **Conceituação:** a idéia básica do modelo é criar um Sistema Especialista, o qual iniciará com algumas perguntas bastante simples ao estudante, do tipo: "Você sabe qual a norma que regulamenta a cotagem em desenhos técnicos?". Em seguida o sistema questiona sobre: o objetivo, as normas complementares, as definições, os métodos de execução, a disposição e

apresentação da cotagem, auxiliados por representações gráficas implementadas através de um software de CAD. Para cada estudante, o sistema determina seu desempenho, diagnostica os seus erros e acertos, bem como aponta as soluções corretas de cada questão.

- **Representação do Problema no Computador:** a ferramenta utilizada para construção do SECADCOT, foi o software **Kappa PC- v.2.0**, cuja representação do conhecimento é baseada em frames e regras de produção. Estruturar os frames significa classificar os objetos do domínio do problema em questão. Deve-se verificar todos os objetos que fazem parte do universo e analisá-los cuidadosamente para classifica-los corretamente. Conforme Gauthier, Silva e Ulbricht, [19] no **Kappa**, os objetos afins serão ligados em uma estrutura hierárquica.

➤ Dessa forma, a Base de Conhecimentos do sistema será construída com objetos e regras. A programação baseada em regras de produção, permitirá que sejam feitas inferências sobre estes objetos. Além disso, o comportamento de cada objeto será especificado através de seus métodos. Como as regras são relativamente independentes, é possível construir um sistema inteligente de forma gradual e consistente. Na programação baseada em regras, cada regra especifica um conjunto de condições e de ações ou conclusões que são executadas se as condições são verdadeiras. As ações podem ainda ser deduções lógicas sobre a base de conhecimento. O processo de inferência no **Kappa** é realizado de duas formas básicas:

- Encaminhamento para frente ou progressivo (**forward chaining**);
- Encaminhamento para trás ou regressivo (**backward chaining**).

O desenvolvimento de interfaces gráficas nesta ferramenta, é realizado de forma interativa, senda que cada tela é denominada de "sessão". Portanto, o software **Kappa** apresenta um ambiente de programação onde a experiência do Engenheiro do Conhecimento é aproveitada. Para a representação dos desenhos técnicos utilizou-se o software **Acadwin for Windows- R.11**, da **AutoDesk Inc.**, pelas razões descritas no capítulo anterior.

#### **4.1.2 - Desenvolvimento e Teste do Protótipo**

Primeiramente, procurou-se subdividir o conhecimento numa amostra representativa de todo o modelo, visando a implementação de um protótipo que produzisse um raciocínio aceitável. O objetivo era verificar se o modelo era viável, permitindo após a expansão para casos mais complexos. Assim, foi estabelecida a árvore hierárquica do sistema, compreendendo a superclasse Cotagem e subdividindo-a em, somente, cinco classes e nove instâncias. O protótipo neste estágio, tinha 19 regras e 2 funções. Executados os testes preliminares, iniciou-se a construção do modelo definitivo.

#### **4.1.3 - Refinamento e Generalização da Base de Conhecimentos**

O refinamento do sistema foi uma preocupação ao longo de todo o desenvolvimento do SECADCOT. Deste modo, a verificação das inconsistências ficou simplificada, pois a cada passo, o trabalho foi realizado em uma parte restrita do conhecimento. O sistema deverá ser flexível, de tal modo que, após a etapa de validação do modelo, possibilite a incorporação de novos conhecimentos e até provavelmente, a inclusão de uma revisão da norma que regulamenta a cotagem no Brasil.

#### **4.2 - Implementação do SECADCOT**

Com as etapas descritas anteriormente cumpridas, partiu-se para a construção do modelo definitivo, denominado SECADCOT. A ordem de construção dos componentes do sistema, está representada e descrita como segue.

- Estrutura hierárquica;
- Os frames e seus atributos (slots);
- As regras de produção;
- As interfaces com o usuário;

- As funções e os métodos;
- O processo de inferência.
- **Estrutura Hierárquica:** os objetos utilizados pelo **Kappa**, tanto podem ser classes ou instâncias de classes, representando coisas concretas ou abstratas. Em função disto, procurou-se classificar os objetos do domínio do problema em questão. Assim foi estruturada a hierarquia dos objetos do sistema, subdividindo-se cuidadosamente, o conhecimento adquirido do especialista. A árvore ou estrutura hierárquica, compreende a superclasse **Cotagem**, seis classes e vinte e duas instâncias, as quais são representadas por linhas tracejadas, na figura 7. Além disto, a ferramenta **Kappa** apresenta como default, mais quatro classes (**Root**, **Menu**, **Image** e **KWindow**) e uma instância denominada **Global**. A classes **Root** e **Menu**, mais a instância **Global** são utilizadas como apoio ao sistema e as Classes **Image** e **KWindow** servem para representação dos tipos de imagens e janelas das interfaces do sistema, as quais, também tem o tratamento de objetos.

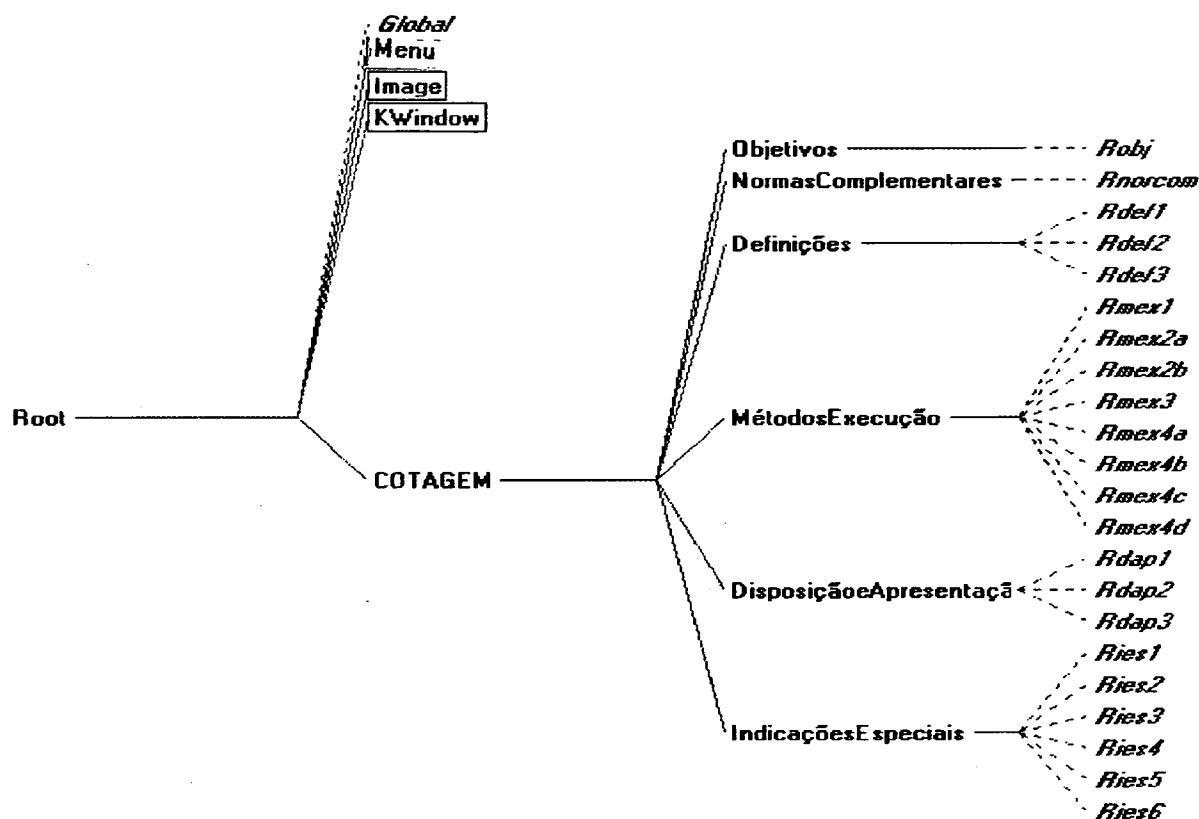


Fig. 7 - Estrutura hierárquica do conhecimento no SECADCOT.

- **Os Frames e seus Atributos:** todos os objetos do sistema, dispõem de **frames** (estrutura de dados) que representam conceitos ou situações, através de uma coleção de **slots** (atributos) com determinados valores. Por exemplo, a superclasse Cotagem, dispõe dos seguintes atributos ou características: assunto, avaliação, item1, item2, item3, item4. Cada atributo deste pode ter um determinado valor, o qual, pode ser do tipo: numérico, texto ou booleano. Da mesma maneira, a classe **KWindow**, dispõe de uma série de atributos, que são representativos do tamanho, da cor, o tipo de fonte, do número da sessão, etc. As características da instância Global, aparecem na figura 8.

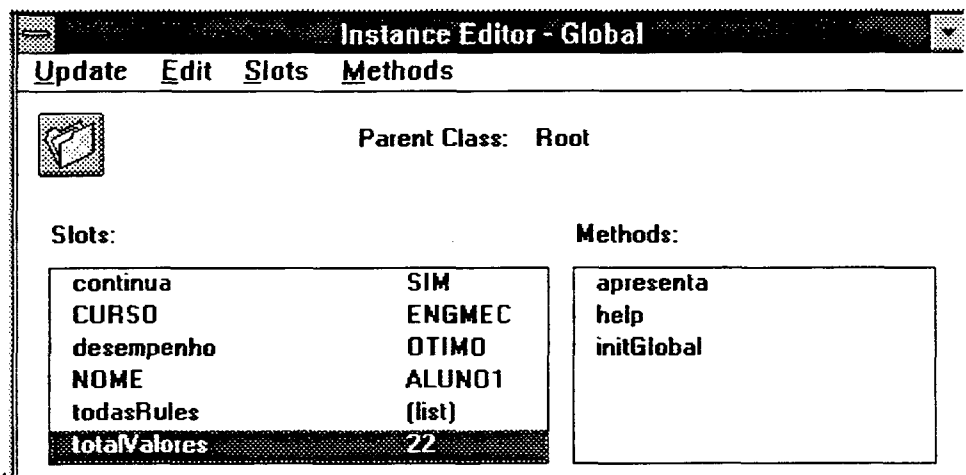


Fig. 8 - Frame e slots da instância Global do SECADCOT.

Uma das característica dos frames é que eles podem ser herdados, de tal maneira, que até as instância das classes, terão as mesmas propriedades dos seus ancestrais. Portanto, os objetos podem ter seu próprios slots, podem herdar slots de seus ancestrais, podem ter partes de slots de outros objetos e podem comunicar-se com outros objetos através de métodos.

- **As Regras de Produção:** com o conhecimento estruturado, tornou-se possível a representação das regras *se-então*, isto é, as regras designativas do raciocínio do especialista. O sistema desenvolvido apresenta 70 regras, que representam o seguinte:

- Vinte e duas regras para verificar se a avaliação das sessões, está correta;
- Vinte e duas regras para verificar se a avaliação das sessões, está errada;
- Vinte e duas regras para informar ao slot *totalValores*, na instância Global, que deve ser adicionado uma unidade para cada sessão, que tiver a avaliação correta, ou seja, ele é um acumulador;
- Uma regra para informar ao slot *totalValores*, na instância Global, que seu valor será zero, i.é., todas as avaliações das sessões estão erradas;
- Uma regra para informar ao slot *desempenho*, na instância Global, que o seu valor será insuficiente, se o número de acertos do estudante, estiver dentro do intervalo de [0,12];
- Uma regra para informar ao slot *desempenho*, na instância Global, que o seu valor será bom, se o número de acertos do estudante, estiver dentro do intervalo de [13,18];
- Uma regra para informar ao slot *desempenho*, na instância Global, que o seu valor será ótimo, se o número de acertos do estudante, estiver dentro do intervalo de [19,22]. Ver exemplo na figura 9.

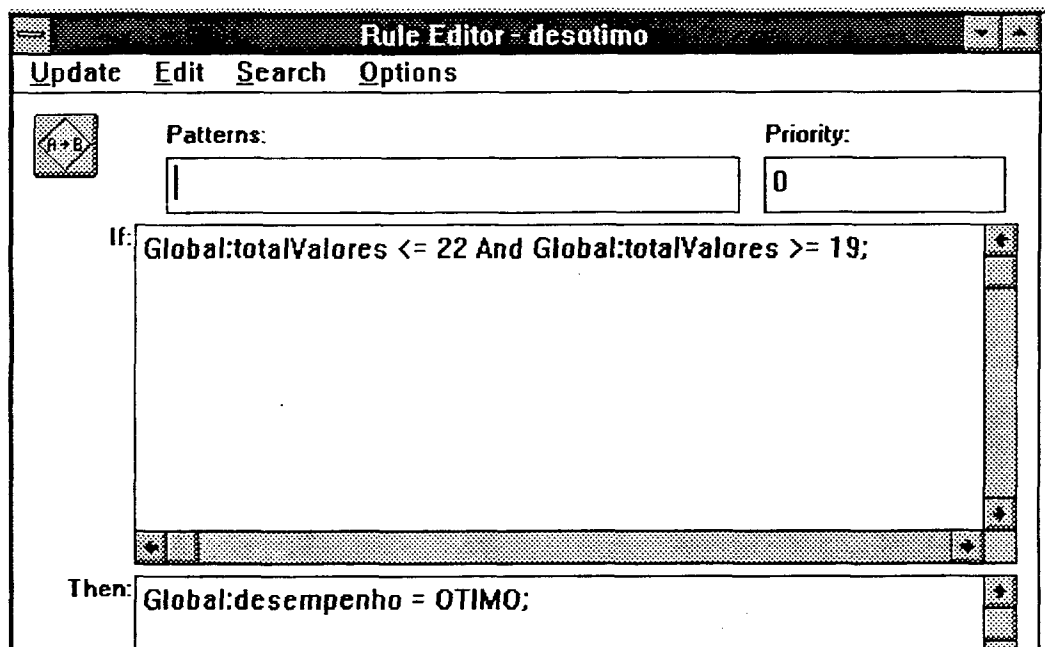
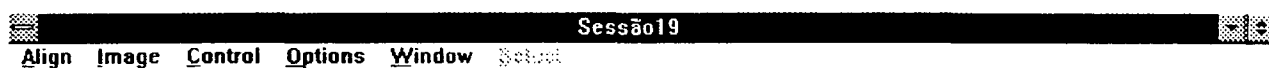


Fig. 9 - Regra do desempenho ótimo do SECADCOT.

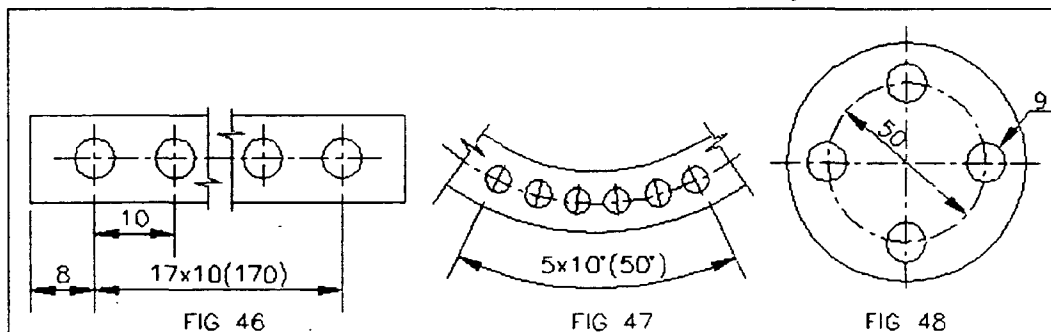
*implacável?*

- **As Interfaces com o Usuário:** definidas as regras, passou-se a construção das interfaces com o usuário final, ou seja, o estudante. Elas são em forma de janelas e totalizam um número de vinte e quatro sessões, como são denominadas no SECADCOT. O **Kappa** dispõe de ferramentas para o desenvolvimento e a customização de até vinte e cinco interfaces (sessões). O uso da interface com o usuário final é efetuado através de janelas e menus. A janela é o componente básico da interface **Kappa**. As janelas são áreas da tela na qual o texto ou os gráficos aparecem. Um menu é uma janela especial que contém uma lista de opções, das quais pode-se escolher uma ou mais alternativas. As opções aparecem como texto ou como gráficos, chamados ícones. Escolhe-se uma dada opção pelo apontamento para ela com o mouse. Para observar e controlar a operação da base de conhecimentos, pode-se usar uma variedade de imagens gráficas construídas na interface **Kappa**. O pacote **ActiveImages** utilizado dentro do software referido, permite a inclusão de diversas imagens do tipo: botões, **bitmaps**, desenhos, textos, caixas de estado, medidores, plotadores de linha, **sliders**, **box** para selecionar valores de slots com uma única alternativa, **box** para selecionar valores de slots com alternativas múltiplas, etc. Pode-se usar estes indicadores para mostrar os valores de parâmetros importantes e observá-los como eles mudam enquanto o sistema está em operação. No SECADCOT, utilizou-se algumas destas imagens, tais como, botões, textos, **bitmaps** e **box** de alternativas simples, para a construção das interfaces (ver figura 10). Estas imagens podem ser divididas em três categorias:

- Imagens que exibem informações estáticas (tal como, o título de uma aplicação ou a imagem **bitmap** de um desenho técnico do SECADCOT);
- Imagens que exibem e modificam informações a partir da escolha de valores únicos para os slots (tal como, seleção do curso que o estudante faz);
- Imagens que exibem e modificam as informações, a partir da escolha de valores múltiplos para os slots (não foram utilizadas no SECADCOT).



**Analise os desenhos e responda as afirmações abaixo, de acordo com as alternativas possíveis.**



**ITEM1:** Quando elementos equidistantes forem parte do desenho, a cotação não deve ser simplificada.

**ALTERNATIVAS:**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

**ITEM2:** O espaçamento linear não deve ser cotado como mostra a Fig 46.

**ALTERNATIVAS:**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

**ITEM3:** Espaçamentos angulares de furos e outros elementos podem ser cotados como mostra a Fig 47.

**ALTERNATIVAS:**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

**ITEM4:** O espaçamento dos ângulos entre furos podem ser omitidos se não causarem confusão.

**ALTERNATIVAS:**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

PASSO ANTERIOR

PRÓXIMO PASSO

Fig. 10 - Exemplo de imagens utilizadas nas interfaces do SECADCOT.

Destaca-se nas interfaces, o modo como foram construídas as imagens bitmap. O procedimento foi abrir uma pequena janela, dentro das sessões do SECADCOT que tinham gráficos, onde foram inseridas as imagens dos 20 bitmaps (ver exemplo, na figura 11), representativos dos 60 desenhos técnicos, necessários para o sistema. Estes desenhos, foram editados dentro do AutoCad for Windows - R.11, gravadas em arquivos com extensão .dwg (drawing) e interligadas ao software Kappa, através da ferramenta Paintbrush, do ambiente operacional, MS-Windows v.3.1.



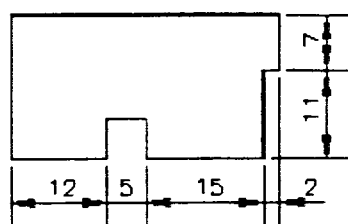


FIG 32

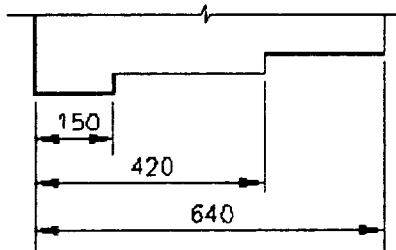


FIG 33

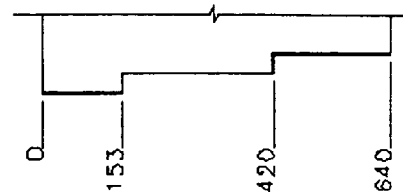


FIG 34

Fig. 11 - Exemplo de imagem **bitmap** usado nas interfaces do SECADCOT.

Outra imagem a destacar são os botões, os quais são em número de 54, no SECADCOT. Os botões normalmente ativam uma função, que pode disparar uma determinada ação ou um método, os quais, serão explicitados na próxima seção deste capítulo. Um exemplo de botão, pode ser o *próximo passo* (na figura 10).

- **As Funções e os Métodos:** o Kappa dispõe de ferramentas de OOP, que dotam os objetos com métodos, os quais especificam o que estes objetos podem fazer. Baseado neste princípio, foram criados botões nas interfaces, que disparam funções, que enviam mensagens para os métodos, os quais executam uma determinada ação. O SECADCOT dispõe de 54 funções, 3 métodos dentro da instância Global e 1 método associado a superclasse Cotagem e herdado por todas as classes e instâncias de classes. Estas funções e métodos, representam o seguinte:

- Vinte e quatro funções do tipo: *execute0* até *execute23*, associadas a botões do tipo *próximo passo*, os quais, permitem a apresentação e a maximização da sessão ou janela seguinte. Verifica-se que não houve necessidade de nenhum método para executar esta ação;

- Vinte e quatro funções do tipo: *volta1* até *volta23*, associadas a botões do tipo *passo anterior*, os quais, permitem a apresentação e a maximização da sessão ou janela anterior (ver figura 10). Verifica-se que não houve necessidade de nenhum método para executar esta ação;
- Uma função denominada *apresenta*, associada ao botão *apresentação* localizado na Sessão inicial do sistema (ver figura 12). Esta função envia uma mensagem, para o método *apresenta* na instância Global. Este método ativa, sequencialmente cinco pequenas janelas (ou cartazes), as quais, informam ao usuário quem desenvolveu este aplicativo, quem foi o especialista, qual instituição, etc. O texto representado na figura 13 é um exemplo, de um destes cartazes;

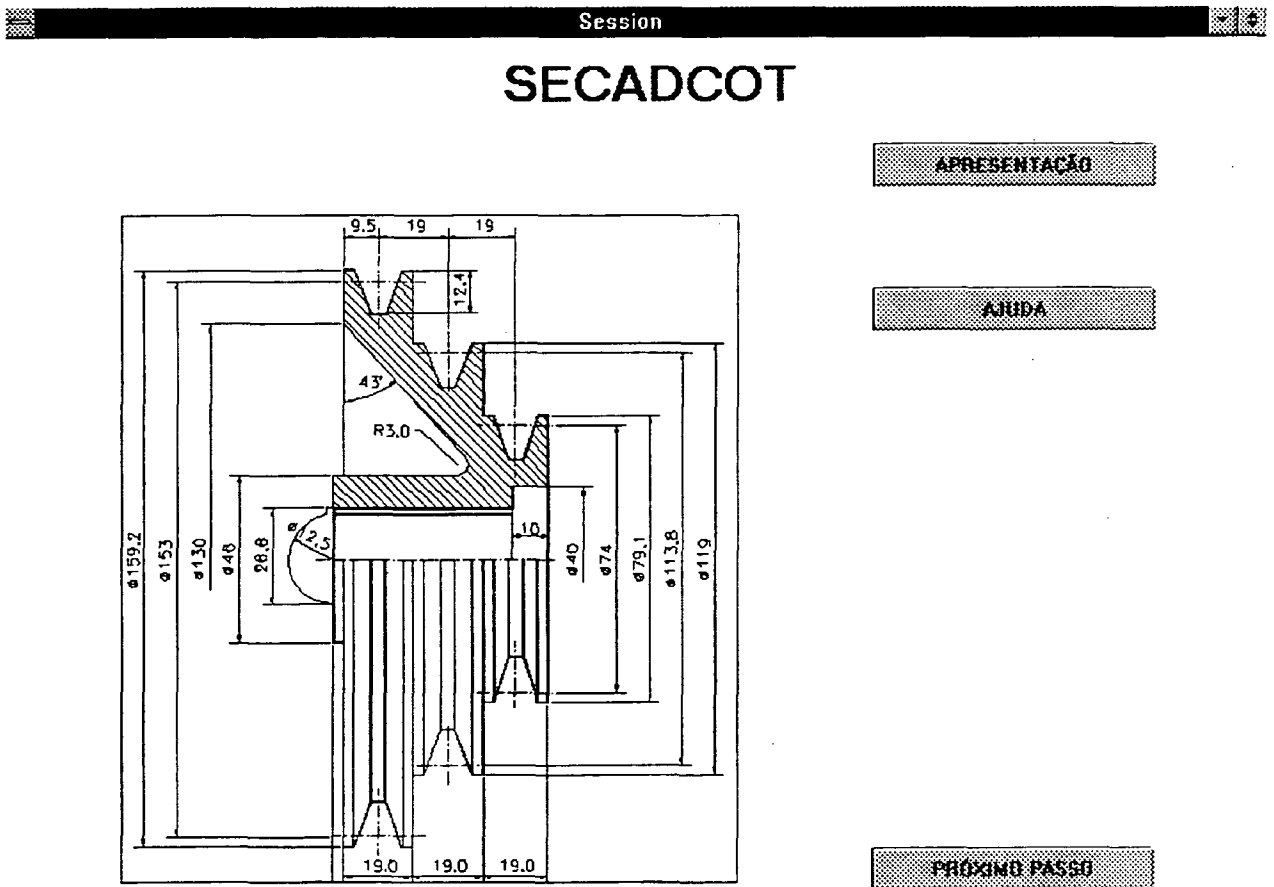


Fig. 12 - Interface designativa da Sessão Inicial do SECADCOT.

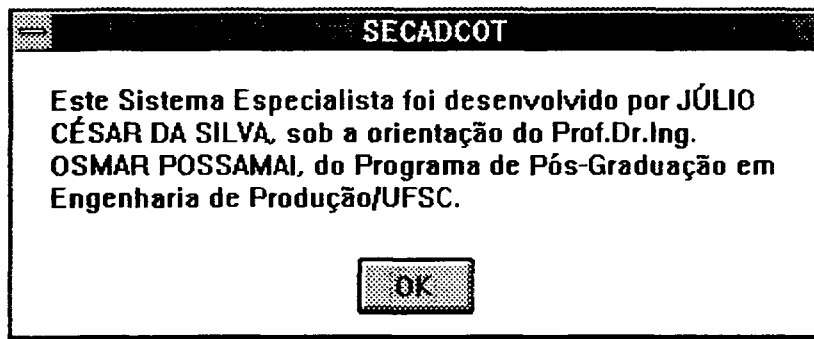


Fig. 13- Exemplo de mensagem emitida pelo botão de apresentação do SECADCOT.

- Uma função denominada *help*, associada ao botão *ajuda*, localizado na Sessão de apresentação do sistema (ver figura 12). Esta função envia uma mensagem, para o método *help*, na instância *Global*. Este método, ativa pequenas janelas que informam ao usuário, qual é o objetivo do SECADCOT, como se faz para utilizá-lo e finalmente avisa ao usuário, para ele ter um bom desempenho no sistema;
- Uma função denominada *initGlobSes*, associada ao botão *início*, na Sessão 1 (ver figura 14). Esta função envia mensagens para o método *initGlobal*, na instância *Global* e para os métodos *initSes*, localizados em todas as instâncias da superclasse *cotagem*. Portanto, este botão é responsável pela reinicialização da instância *Global* e de todas as instâncias em particular. A ação é finalizada com a apresentação de uma pequena janela, informando *Inicialização Completa*;
- Uma função denominada *resultado*, associada ao botão *resultado*, na Sessão 1 (ver figura 14). Esta função declara a assertiva de todas as sessões em relação à um item respondido, dispara o processo de inferência de Encadeamento para frente e finalmente, dá o número de acertos e o grau de desempenho do estudante no SECADCOT;
- Uma função denominada *diag*, associada ao botão *diagnóstico*, na Sessão 1 (ver figura 14). Este botão dispara a função *diag*, que informa através de pequenas janelas, a avaliação de

cada sessão e no caso de avaliação errada, apresenta as respostas corretas. Este botão também ativa um método denominado *continua* na Instância *Global*, que pergunta ao usuário se ele quer prosseguir com o diagnóstico das respostas, após as sessões 7 e 14. Este método evita que o usuário necessite ir até a Sessão 23, caso queira interromper o diagnóstico antes da última sessão;

- Uma função denominada *exit*, associada ao botão *fim*, na Sessão 1 (ver figura 14). Este botão dispara a função *exit*, a qual fecha todas as janelas ativas, excetuando-se a janela de apresentação, caso ela esteja ativa.

Sessão1

## INTERFACE PRINCIPAL

INICIO

ENTRE COM O NOME DO ALUNO:

ALUNO1
ALUNO2
ALUNO3
ALUNO4
ALUNO5

ENTRE COM O NOME DO CURSO:

AGRO
ARQ
ENGALI
ENGAUT
ENGCIV

PASSO ANTERIOR

PRÓXIMO PASSO

RESULTADO

DIAGNÓSTICO

FIM

Fig. 14 - Interface designativa da Sessão 1 do SECADCOT.

- **O Processo de Inferência:** o processo de inferência utilizado no SECADCOT é baseado na forma de Encadeamento para Frente. À partir das respostas de todas as sessões pelo usuário e com o emprego de todas as 70 regras do sistema (informadas no slot *totalrules* na instância *Global*), o motor de inferência do SECADCOT, consegue determinar e declarar seu número de acertos, bem como, seu grau de desempenho e o diagnóstico de seus conhecimentos sobre cotagem.

#### 4.3 - Descrição Geral

Além das regras, funções e métodos apresentados anteriormente, o SECADCOT dispõe de vinte e quatro interfaces desenvolvidas com auxílio de sistemas CAD. Quando um estudante se depara com um problema, o sistema poderá diagnosticá-lo, inferir uma solução para o mesmo e apresentar-lhe a solução correta.

O sistema inicia com uma sessão de apresentação, onde é mostrado um desenho técnico cotado, representativo de uma polia (ver figura 12). Além desta imagem *bitmap*, aparecem pela ordem, um botão de *apresentação*, um botão de *ajuda* e um botão *próximo passo*.

Com o apontamento do botão *próximo passo*, desta Sessão e clicando-se o botão esquerdo do mouse, ativa-se a próxima sessão, que é a Sessão 1 (ver a figura 14), a interface principal do sistema. Esta sessão é composta por seis botões, mais dois *boxes* (caixas) para selecionar valores de slots com uma única alternativa. O objetivo destas imagens, é explicado sucintamente, a seguir:

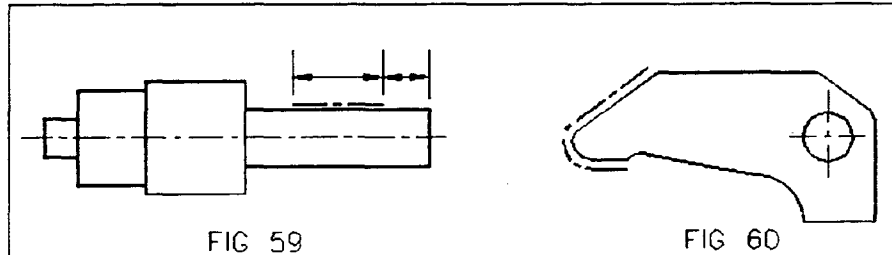
- Um botão denominado *início*, o qual inicializa o sistema;

- Um *box*, que permite a escolha do código do aluno;
- Um *box*, que permite a seleção do curso realizado pelo aluno;
- Um botão do tipo *passo anterior*, o qual permite ver a sessão inicial;
- Um botão denominado *próximo passo*, o qual apresenta a Sessão 2;
- Um botão denominado *resultado*, o qual permite saber o número de acertos e grau de desempenho do usuário;
- Um botão denominado *diagnóstico*, o qual informa ao usuário, o que ele respondeu corretamente, o que ele respondeu erradamente e como seriam as respostas corretas;
- Um botão denominado *fim*, o qual deixa ativa, somente a sessão inicial, caso ela esteja aberta.

O procedimento normal do usuário nesta Sessão é clicar no botão *início*, após no *box* de escolha do número do aluno, depois no *box* de escolha do curso e finalmente, no botão *próximo passo*, o qual encaminha para a próxima sessão, que é a de número 2. Os botões *resultado*, *diagnóstico* e *fim*, serão utilizados somente após o estudante, responder todas as sessões, isto é, só depois da Sessão 23. O botão *passo anterior*, tem uma utilização eventual.

Após esta sessão, o sistema encaminha o usuário, para a verificação dos conhecimentos sobre cotagem. Isto inicia, na Sessão 2, onde o estudante é perguntado sobre qual é objetivo da NBR-10126 e vai até a Sessão 23, sobre indicações especiais na cotagem (ver figura 15).

**Analise os desenhos e responda as afirmações abaixo, de acordo com as alternativas possíveis.**



**ITEM1:** A linha traço e ponto larga, desenhada adjacente e paralela a face, na Fig 59, indica uma situação especial desta superfície.

**ALTERNATIVAS:**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

**ITEM2:** Quando a exigência especial se referir a um elemento de revolução, a indicação deve ser mostrada somente num lado.

**ALTERNATIVAS**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

**ITEM3:** A cotação não é necessária, quando o desenho mostrar claramente a extensão da superfície com exigência especial.

**ALTERNATIVAS**

falso  
verdadeiro  
desconhecido

PASSO ANTERIOR

PRÓXIMO PASSO

Fig. 15 - Interface designativa da Sessão 23 do SECADCOT.

O procedimento do usuário, em todas estas sessões, deve ser o seguinte:

- Verificar o enunciado da sessão (ou questão);
- Analisar os itens 1, 2, 3 e eventualmente, o item 4;
- Verificar os desenhos técnicos correspondentes;
- Selecionar uma das alternativas propostas: falso ou verdadeiro. O usuário deve ser informado, que não deve deixar nenhum item, com a alternativa do tipo desconhecido, sob pena de errar toda a sessão;

2?

- Após as etapas anteriores, clicar o botão *próximo passo*, que o encaminha para a próxima sessão do sistema.

Desta maneira e ao longo de mais vinte e duas sessões, o sistema solicitará respostas do usuário, sobre os princípios gerais de cotagem. Sucessivamente, o estudante deverá fornecer respostas sobre: o objetivo, as normas complementares, as definições, os métodos de execução, a disposição e a apresentação e as indicações especiais de cotagem.

Uma vez respondida estas questões, o sistema retorna para a Sessão 1, e com o auxílio dos botões *resultado* e *diagnóstico*, consegue determinar o número de acertos, o grau de desempenho e o diagnóstico dos conhecimentos do aluno sobre cotagem. Desta forma o especialista, ou seja, o professor de Desenho Técnico, poderá recomendar os tópicos que deverão ser reestudados, quando for o caso.

Para que um novo usuário possa utilizar o sistema, deve-se em seguida apertar o botão *fim*, que a ação desencadeada será de fechar todas as janelas ativas, com exceção da sessão inicial de apresentação do SECADCOT. Para reinicializar o sistema, também não deve ser esquecido de clicar o botão *início*, quando o usuário estiver dentro da Sessão 1.



## **CAPÍTULO 5**

### **VALIDAÇÃO DO SECADCOT**

Para testar e avaliar o desempenho de um Sistema Especialista, no caso, o SECADCOT, utilizou-se a abordagem empírica, proposta por Weiss e Kulikowski.[15] Esta abordagem consiste em enfatizar a avaliação empírica do desempenho, sobre muitos casos de problemas armazenados em um banco de dados. Tradicionalmente, conforme os autores, os testes são levados a efeito logo que o sistema esteja relativamente bem desenvolvido. Entretanto, o teste empírico pode ser de grande valor mesmo nos primeiros estágios de desenvolvimento do modelo. Para isto, uma amostragem representativa de casos deve estar disponível na base de conhecimentos; assim, quando forem feitas mudanças no modelo, o desempenho do sistema poderá ser testado pelo exame das mudanças no desempenho.

#### **5.1 - Aplicação do Modelo**

O SECADCOT foi testado e avaliado pelo Prof. Henderson José Speck, Esp. e pelo Prof. Sérgio Murilo Ulbricht, M.Eng., especialistas em Desenho Técnico, do Departamento de Expressão Gráfica-EGR/CCE/UFSC. O sistema também foi aplicado para estudantes dos Cursos de Engenharia Mecânica e de Engenharia de Produção Mecânica da UFSC. Para testar e avaliar o desempenho do SECADCOT, foram estabelecidas algumas condições, as quais serão descritas a seguir.

##### **5.1.1 - Condições**

- Primeiramente o sistema deveria ser avaliado pelo projetista do sistema, após por dois

especialistas em Desenho Técnico e finalmente, pelos estudantes;

- Os estudantes deveriam ter, no mínimo, uma noção de Cotagem;
- A disciplina onde a aplicação iria ocorrer, deveria ter em seu conteúdo o tópico Cotagem;
- Os microcomputadores utilizados deveriam ser, no mínimo, PC-AT 386 DX 40 MHz, com monitores SVGA;
- Para a aplicação, seria necessário dispôr dos **software MS-DOS 6.2, MS-Windows 3.1, Kappa-PC 2.0 e AutoCAD for Windows, r.11;**
- O tempo máximo para aplicação, deveria ser de 45 minutos, a partir de estudos realizados pelo projetista e pelo especialista;
- A amostra da população deveria ser no mínimo igual a 20% do universo escolhido;
- O horário da aplicação deveria ser o próprio horário das aulas normais;
- A aplicação deveria ocorrer em dois momentos, primeiro antes do conteúdo sobre cotagem ser ministrado e num segundo momento, após este conteúdo ter sido dado.

Partindo destas condições, a disciplina escolhida para aplicação do SECADCOT foi a EGR 5623-Desenho Técnico para Engenharia Mecânica, a qual contém em seu programa, o tópico "Cotagem e Ajustes Mecânicos". Esta disciplina é oferecida nas 3ª. fase dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção Mecânica e tem como pré-requisito a disciplina EGR 5604 - Desenho Técnico I, onde são dadas noções de cotagem.

A amostra utilizada foi determinada como sendo a totalidade dos alunos matriculados nas turmas 339A e 339D (oficialmente 9 alunos/turma), da disciplina EGR 5623, cujo professor era o próprio especialista do sistema. O número de turmas da disciplina EGR 5623, oferecidas pelo Departamento de Expressão Gráfica, no semestre 94/1, foi igual a 6, para um universo de 65 alunos matriculados oficialmente.

O local da aplicação escolhido foi o DesignLab - Laboratório de Projetos e Métodos Gráficos Computacionais, situado no Departamento de Expressão Gráfica e coordenado pela Prof. Vânia Ribas Ulbricht, M.Eng. Este laboratório dispunha do **hardware** e **software** necessário para implementação da aplicação.

### **5.1.2 - Hipóteses**

Foram estabelecidas as seguintes hipóteses, à serem cumpridas no transcorrer da aplicação do modelo:

- Verificar se os especialistas em Desenho Técnico, concordam com as conclusões apresentados pelo SECADCOT;
- Na aplicação com os estudantes de Engenharia, verificar a funcionalidade e a performance do sistema, visando determinar possíveis erros e objetivando um incremento de sua confiabilidade, através do refinamento do modelo, para uma provável implementação futura.

### **5.1.3 Dados da Aplicação**

Com base nas condições e hipóteses estabelecidas, chegou-se aos seguintes resultados:

No primeiro momento da aplicação do SECADCOT para as duas turmas de EGR 5623- Desenho Técnico para Engenharia Mecânica, foram obtidos os seguintes resultados, representados, respectivamente nos quadros 1 e 2.

<b>Aluno</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>	<b>Duração</b>	<b>Número de Acertos</b>
Aluno1	14:05'	14:50'	45'	17
Aluno2	14:05'	14:50'	45'	08
Aluno3	15:00'	15:43'	43'	16
Aluno4	15:00'	15:45'	45'	09
Aluno5	13:55'	14:25'	30'	01
Aluno6	14:56'	15:32'	37'	15
Aluno7	-	-	-	-
Aluno8	-	-	-	-
Aluno9	-	-	-	-
<b>Média</b>			<b>41'16"</b>	<b>11</b>

Quadro 1 - Dados da Aplicação 1 para a turma 339A em 21/3/1994.

<b>Aluno</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>	<b>Duração</b>	<b>Número de Acertos</b>
Aluno1	14:30'	14:58'	28'	11
Aluno2	13:50'	14:20'	30'	13
Aluno3	13:50'	14:30'	40'	09
Aluno4	13:50'	14:25'	35'	05
Aluno5	15:20'	16:05'	45'	Zero
Aluno6	14:54'	15:20'	26'	10
Aluno7	14:33'	15:15'	42'	09
Aluno8	15:35'	16:15'	40'	15
Aluno9	15:05'	15:42'	37'	06
<b>Média</b>			<b>36'28"</b>	<b>8,66</b>

Quadro 2 - Dados da Aplicação 1 para a turma 339D em 16/3/1994.

Visando facilitar a interpretação dos resultados obtidos, na primeira aplicação, apresenta-se nas figuras 16 e 17, os gráficos de barras correspondentes aos números de acertos dos estudantes das turmas 339A e 339D respectivamente.

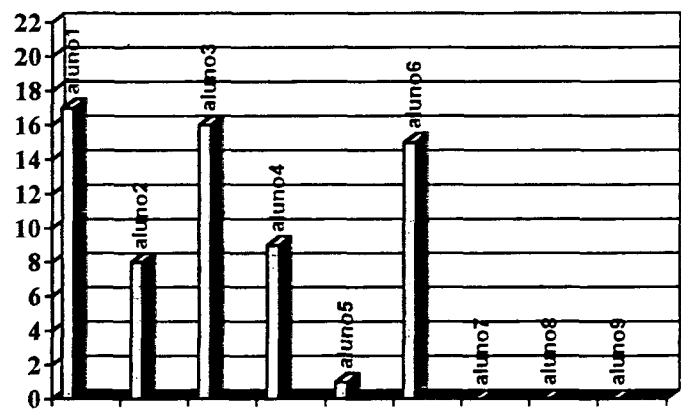


Fig. 16 - Gráfico de barras da Aplicação 1 da turma 339A.

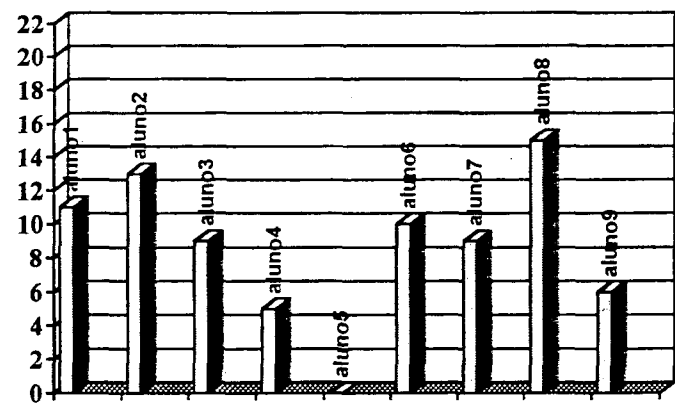


Fig.17 - Gráfico de barras da Aplicação 1 da turma 339D.

No segundo momento da aplicação do SECADCOT para as duas turmas de EGR 5623-Desenho Técnico para Engenharia Mecânica, foram obtidos os resultados representados nos respectivos, quadros 3 e 4.

<b>Aluno</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>	<b>Duração</b>	<b>Número de Acertos</b>
Aluno1	13:45'	14:20'	35'	22
Aluno2	13:45'	14:30'	45'	17
Aluno3	13:45'	14:30'	45'	16
Aluno4	13:45'	14:30'	45'	16
Aluno5	não veio	não veio	não veio	não veio
Aluno6	15:56'	16:21'	25'	19
Aluno7	-	-	-	-
Aluno8	-	-	-	-
Aluno9	-	-	-	-
<b>Média</b>			<b>39'</b>	<b>18</b>

Quadro 3 - Dados da Aplicação 2 para a turma 339A em 11/04/1994.

<b>Aluno</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>	<b>Duração</b>	<b>Número de Acertos</b>
Aluno1	13:45'	14:19'	34'	13
Aluno2	13:45'	14:18'	33'	15
Aluno3	13:45'	14:17'	32'	16
Aluno4	13:45'	14:24	39'	15
Aluno5	Não veio	Não veio	Não veio	Não veio
Aluno6	15:00'	15:45'	40'	18
Aluno7	15:00'	15:38'	38'	14
Aluno8	15:00'	15:35'	35'	20
Aluno9	15:00'	15:30'	30'	11
<b>Média</b>			<b>35'12"</b>	<b>15,25</b>

Quadro 4 - Dados da Aplicação 2 para a turma 339D em 13/04/94

Como anteriormente, mostra-se através das figuras 18 e 19, o número de acertos dos alunos, durante a segunda aplicação.

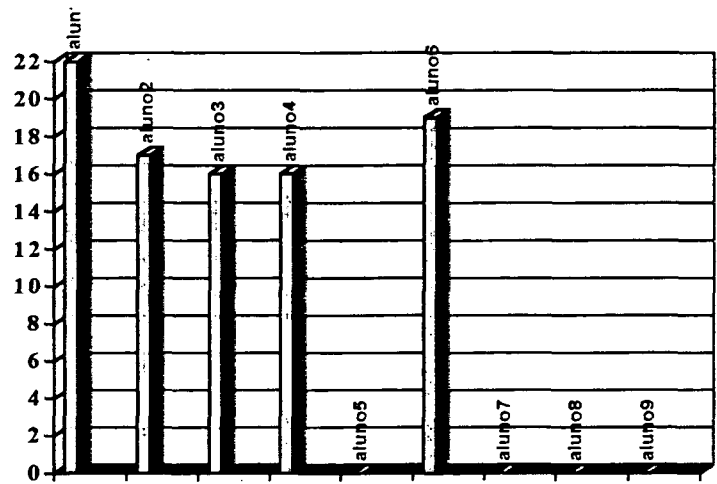


Fig. 18 - Gráfico de barras da Aplicação 2 da turma 339A.

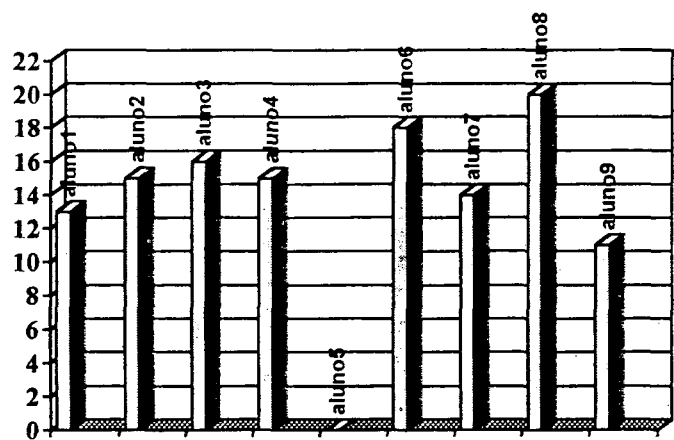


Fig. 19 - Gráfico de barras da Aplicação 2 da turma 339D.

## **5.2 - Análise dos Resultados da Aplicação**

Serão descritos a seguir, a interpretação dos dados e algumas considerações sobre a completitude da aplicação.

### **5.2.1- Interpretação dos Dados**

Através dos quadros 1 a 4, pôde-se observar que o tempo médio de resposta permaneceu quase inalterado, demonstrando que o sistema apresentava, desde a sua primeira aplicação, uma adequada interface com os alunos.

Como esperado, o desempenho dos alunos durante a segunda aplicação, foi sensivelmente superior aos estado inicial (o desempenho passou de insuficiente para bom, em ambas as turmas), demonstrando que o sistema conseguiu avaliar com precisão, o grau de conhecimento dos alunos, após terem visto o respectivo conteúdo sobre cotagem.

O tempo médio gasto pelos alunos para efetivar a avaliação no SECADCOT, foi bem menor que o tempo que se gasta no processo tradicional de avaliação, efetuado em sala de aula.

O fato do sistema apresentar os desenhos prontos para os estudantes interpretarem, permitiu que os mesmos se concentrassem somente no objetivo principal das normas de dimensionamento de desenhos técnicos, evitando possíveis erros em relação ao traçado cometidos por eles, quando efetuam-se as provas.

### **5.2.2 - Completitude da Aplicação**

Os resultados obtidos na aplicação do modelo, tanto para os especialistas, quanto para



os estudantes dos cursos de Engenharia Mecânica e de Engenharia de Produção Mecânica, caracterizaram bem os pontos fortes e fracos do sistema. Ocorreram uma série de erros, que serviram para mostrar a necessidade de alterações, visando a melhoria do SECADCOT. Os erros que apareceram e foram corrigidos no modelo definitivo, serão descritos a seguir.

- O sistema mostrou a necessidade de uma revisão ortográfica dos textos empregados para formular as perguntas e respostas;
- Apresentou também, alguns problemas com a legibilidade de alguns textos;
- Foi constatado que alguns gráficos estavam errados e a janela reservada para um bitmap estava com o tamanho inadequado;
- Houve algumas críticas por parte dos especialistas e estudantes, que disseram ser necessário memorizar números de normas, para responder duas sessões;
- Apareceram problemas com as regras de avaliação de quatro itens, de quatro sessões diferentes.

Estes problemas, não chegaram a prejudicar a aplicação e quando foram constatados, foram ponderados para não afetar o desempenho dos estudantes.

Outra constatação, foi de que apesar da falta de alguns alunos a amostragem foi significativa e igual a 23,07% (15 alunos), no primeiro momento da aplicação e igualmente significativa, com o valor de 20% (13 alunos), no segundo momento. Relembrando que a totalidade dos alunos matriculados oficialmente nas seis turmas era igual a 65 (100%).

### 5.3 - Análise do Modelo

Com base nas hipóteses consideradas, na interpretação dos resultados obtidos com a aplicação do SECADCOT e nas opiniões emitidas pelos especialistas e estudantes, foram

analisados os pontos fortes e fracos do sistema, as vantagens e desvantagens de se utilizar o ensino assistido por computador e a necessidade de uma reavaliação do modelo. Estas considerações serão descritas a seguir.

### 5.3.1 - Pontos Fortes

- Verificou-se que o sistema atingiu seu objetivo conseguindo determinar o número de acertos, avaliar o desempenho e por fim, diagnosticar o que o estudante conhecia sobre cotagem;
- O sistema conseguiu reproduzir adequadamente, a forma de avaliar os alunos;
- A interface com o usuário mostrou-se amigável, pois mesmo com poucas explicações sobre o uso do sistema, os especialistas e os estudantes demonstraram condições de operá-lo;
- Houve grande receptividade e motivação por parte dos usuários, para utilizar o aplicativo, devido ao fato de o mesmo, ser uma nova ferramenta que faz uso dos recursos oferecidos pelos sistemas de CAD, de sistemas especialistas e de alguns módulos dos sistemas de ensino inteligente assistidos por computador;
- O uso do SECADCOT, resulta em diminuição do trabalho para o professor de Desenho Técnico, na avaliação de seus alunos;
- O SECADCOT, apresentou precisão e qualidade nos desenhos técnicos efetuados;
- O sistema mostrou-se rápido para determinar o número de acertos, o desempenho e o diagnóstico dos conhecimentos do usuário, em cotagem;
- O aplicativo serviu para mostrar pontos conflitantes nos conhecimentos adquiridos pelos estudantes, à partir de livros de cotagem, de outros professores especialistas na área e da própria norma que regulamenta a cotagem no Brasil.

### 5.3.2 - Pontos Fracos

- O aplicativo mostrou-se lento para carregar os dados, devido ter sido desenvolvido, basicamente, na plataforma do **Kappa PC-2.0**, esta ferramenta utilizada para construção do sistema é boa, porém é limitada ao desenvolvimento de protótipos de sistemas especialistas, a medida, que o sistema se expanda é necessário utilizar outra linguagem de programação, tal como a linguagem "C";
- O sistema apresentou dificuldade para a correção necessária de alguns dos gráficos existentes;
- Ficou evidenciado que o sistema tem uma boa **performance**, só a partir de plataformas **PC/AT DX 386/33MHz**, para micro computadores da linha **IBM-PC**;
- Devido ao aplicativo ser monousuário, é necessário a instalação dos **softwares** necessários;
- O estudante não pode responder graficamente algumas questões.

A seguir, serão descritas as vantagens e desvantagens do uso do computador na área de Educação, que é o propósito do modelo desenvolvido neste trabalho.

### 5.3.3 - Vantagens

As dissertações de Mielke [6] e Ulbricht [7], as quais também tratam do ensino assistido por computador, serviram de referência para algumas destas constatações.

- Os sistemas de ensino assistido por computador, podem propiciar uma modernização dos sistemas educacionais dos países em desenvolvimento, diminuindo a defasagem em relação aos países mais adiantados;

- Permitem a apresentação do conteúdo de uma maneira mais agradável, através da utilização de técnicas de hipermídia e multimídia, i.é., pode-se aliar som, imagem e animação, assim, facilita-se o processo de ensino-aprendizagem;
- Permitem uma maior independência do aluno em relação ao professor;
- O uso do computador no ensino permite uma avaliação rápida, o diagnóstico e o registro das respostas do estudante;
- Facilitam a instrução individualizada, de acordo com o ritmo e o interesse do estudante;
- Podem repetir indefinidamente, quantas vezes for necessário, um mesmo assunto, sem demonstrar fadiga ou irritabilidade;
- Facilitam o ensino à distância, através da utilização de redes;
- Possibilitam uma automatização de tarefas manuais repetitivas, tais como, desenho de partes simétricas, alteração de escalas, etc, além de facilitar a caligrafia técnica e a criação de bibliotecas de símbolos, de elementos normalizados, etc., resultando numa maior produtividade e qualidade, nas diversas fases do projeto;
- O avanço atual dos estudos na área de ergonomia da informática, em conjunto com o surgimento de novas linguagens de programação, facilitou a tarefa de projetar interfaces gráficas, mais amigáveis com os usuários;
- É necessário que as Escolas de Engenharia, utilizem novas tecnologias e ferramentas na área de Inteligência Artificial, já colocadas à disposição dos usuários;
- As empresas necessitam cada vez mais, de engenheiros recém-formados, com conhecimentos nas áreas de CAD e de informática geral;
- O custo do hardware e dos software, tem caído cada vez mais, permitindo o acesso de mais estudantes ao ensino informatizado.

#### **5.3.4 - Desvantagens**

- Assuntos que estão na fronteira do conhecimento explícito, cujos conteúdos e estruturas

não são ainda totalmente compreendidos ou mudam constantemente são menos aplicáveis, para o ensino assistido por computador, do que os assuntos bem definidos;

- Sabe-se pouco sobre ensino individualizado, uma vez que tradicionalmente os esforços de pesquisa em educação tem focalizado o ensino de grupos;
- Muitos pesquisadores e projetistas de sistemas especialistas não se utilizam de técnicas de engenharia do conhecimento, para extraí-los de professores peritos no domínio à ser representado;
- Aparecem dificuldades relacionadas com a falta de disposição de professores, em participar de uma nova experiência pedagógica, que utiliza novas ferramentas e está centrada no ensino assistido por computador;
- O investimento para a aquisição de grande número de computadores e programas, apesar do preço estar diminuindo, ainda, é muito alto para as escolas públicas e gratuitas.

#### **5.4 - Reavaliação do Modelo**

Com base na análise dos resultados da aplicação do SECADCOT, tanto para os especialistas em Desenho Técnico, quanto para os estudantes dos Cursos de Engenharia Mecânica e de Engenharia de Produção Mecânica, observou-se que eram necessárias algumas correções.

As alterações efetuadas, foram no sentido de modificar os enunciados de algumas Sessões, de uma correção ortográfica geral, de melhoria na legibilidade dos textos, de alteração da cor de fundo das janelas, de correção de gráficos errados, de mudanças no tamanho das imagens **bitmap**, etc. Isto implicou em mudanças nas regras de avaliação de algumas sessões, alterando a forma de o sistema fazer as inferências necessárias, para avaliar e diagnosticar os conhecimentos de cotagem, com relação aos alunos da disciplina de Desenho Técnico.

Ficaram faltando outras modificações que eram necessárias, mas que são originárias da plataforma (software **Kappa** e **Acadwin**) na qual foi desenvolvido o modelo e que passam pela atualização destes softwares. Todavia, isto não invalida de forma nenhuma estas ferramentas que possibilitaram a viabilização do modelo ora avaliado.

Concluindo, verificou-se que de um modo genérico, o SECADCOT apresentou poucos problemas, não havendo necessidade de mudanças de maior profundidade em relação ao modelo teórico inicial, visto que as mesmas, já vinham sendo efetuadas durante o desenvolvimento do sistema.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

#### **6.1 - Conclusão**

Foi proposto nesta dissertação, um modelo denominado SECADCOT, o qual é um Sistema especialista conjugado a um sistema CAD para avaliar e diagnosticar os conhecimentos de um estudante sobre cotagem nas disciplinas de Desenho Técnico.

Este sistema é composto por interfaces desenvolvidas com o auxílio de software de CAD. Pode ser considerado como um módulo de um sistema Ensino Inteligente Assistido por Computador (EIAC). No modelo do Mielke, [6] sobre sistemas EIAC, o SECADCOT se insere no módulo de avaliação do estudante.

Observou-se, que o sistema está se desempenhando num nível de especialista, após terem sido efetuados exaustivos testes informais e de avaliação formal de seu desempenho, com professores peritos no domínio pesquisado e com estudantes dos cursos de Engenharia Mecânica e de Produção Mecânica. Nesta avaliação, durante a etapa de validação, o sistema mostrou suas limitações e alguns erros, os quais foram passíveis de correção e apontaram para uma reavaliação do modelo.

Apesar destas limitações, o SECADCOT provou que pode ser aplicado no ensino do Desenho Técnico, podendo-se chegar as seguintes conclusões, sobre o presente trabalho:

- O sistema desenvolvido é viável, cumpriu com sua função e facilita o trabalho do professor especialista nesta área;

- Obteve um desempenho bastante proficiente;
- Contribui para automatização e melhoria da qualidade, nas tarefas de ensino e de sua avaliação;
- Obteve boa receptividade por parte dos professores especialistas no domínio representado;
- Mostrou que a disciplina Desenho Técnico, devido a seu caráter normativo, facilitou a implementação do sistema;
- A utilização de ferramentas de última geração, nas áreas de Inteligência Artificial e de CAD, propiciou uma maior sintonia entre o ensino do Desenho Técnico e a evolução tecnológica atual;
- Os estudantes demonstraram grande receptividade e motivação, devido a interação entre computador e ensino;
- Pode ter aplicação para estudantes de cursos técnicos, isto é, de escolas profissionalizantes;
- Possui uma interface amigável, que facilita sua utilização, mesmo para usuários que não tenham maiores conhecimentos de informática.

## **6.2 - Recomendações para Futuros Trabalhos**

Como sugestão para futuros trabalhos, na mesma linha de pesquisa desenvolvida na presente dissertação, recomenda-se o seguinte:

- Implementar outros sistemas especialistas, para avaliar e diagnosticar conhecimentos dos estudantes, sobre outros itens dos programas das disciplinas de Desenho Técnico, tais como, Sistemas de Representação, Cortes e Seções, etc.;
- Ampliar o Sistema Especialista, de tal maneira, que englobe todo um programa, de disciplinas de Desenho Técnico, para áreas como Engenharia Civil, Elétrica, Mecânica, Produção, Sanitária, etc.;



- Desenvolver um sistema Ensino Inteligente Assistido por Computador (EIAC) completo, para disciplinas de Desenho Técnico;
- Incluir técnicas de multimídia e hipermídia, em sistemas EIAC, que facilitem o ensino do Desenho Técnico;
- Desenvolver estudos que permitam a comparação do rendimento do estudante, quando submetidos ao método tradicional do ensino do desenho e de quando se utilizam do ensino de desenho auxiliado por computador.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WATERMAN, Donald A. A Guide to expert systems. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1986.
- [2] PASSOS, Emmanuel L. Inteligência artificial e sistemas especialistas. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1989.
- [3] RESETARITS, Paul J. Engenharia gráfica em transição. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA, 30., 1988, Viena. Anais... Recife: Associação Brasileira de Professores de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 1989, v.3, p.141-147.
- [4] CUNHA, Gilberto J., BERALDO, Antônio T.M., BARREIROS, Fernando P. et al. Computação gráfica e suas aplicações em CAD. São Paulo: Atlas, 1987.
- [5] BLACH, A.E. , KREPEC, T. , LATINOVIC, V. Método econômico para o ensino da engenharia usando microcomputador. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA, 30., 1988, Viena. Anais ... Recife: Associação Brasileira de Professores de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 1989, v.3, p.119-132.
- [6] MIELKE, Fernando L. Ensino assistido por computador: algumas considerações teóricas da ergonomia e da inteligência artificial num ambiente hipertexto. Florianópolis: UFSC, 1991.112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1991.
- [7] ULBRICHT, Sérgio M. Análise dos conceitos fundamentais do desenho técnico face a implementação parcial de um modelo teórico de ensino inteligente auxiliado por computador. Florianópolis: UFSC, 1992.131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- [8] ULBRICHT, Vania R. Modelagem cognitiva em vista da concepção do módulo avaliação do estudante de um sistema de ensino inteligente auxiliado por computador para a

- geometria descritiva. Florianópolis: UFSC, 1992.131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- [9] VOISINET, Donald D. CADD - Projeto e desenho auxiliados por computador. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- [10] BARR, Avron, FEIGENBAUM, Edward A. The Handbook of artificial intelligence. Addison-Wesley, v.2, 1982.
- [11] CORREDOR, Martha V. M. Sistemas tutoriales inteligentes. Boletín de Informática Educativa, Bogotá: Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia , v.2, n.1, p. 41-49, 1989.
- [12] GENARO, Sérgio. Sistemas Especialistas: o conhecimento artificial. São Paulo: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1986.
- [13] BANDYOPADHYAY, Amithaba. Aplicação de sistemas especializados no ensino de engenharia gráfica. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA, 3º., 1988, Viena. Anais... Recife: Associação Brasileira de Professores de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 1989, v.3, p.133-140.
- [14] WEBER, Rosina de O. Sistema especialista difuso para análise de crédito. Florianópolis: UFSC, 1993. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- [15] WEISS, Sholom M., KULIKOWSKI, Casimir A. Guia prático para projetar sistemas especialistas. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.
- [16] KAPPA REFERENCE MANUAL. USA: Intellicorp Inc., 1991.
- [17] COHN, David S. et al. AutoCAD 12 - Guia completo. Rio de Janeiro: Berkeley Editora, 1993.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Coletânea de normas de desenho técnico. São Paulo: Editora do SENAI-DTE-DMD, 1990.
- [19] GAUTHIER, Fernando A.O., SILVA, Júlio C., ULBRICHT, Vania R. Sistema especialista: Diagnóstico dos conhecimentos iniciais de um aluno frente a geometria

descritiva. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E MULTIMÍDIA, 1º., 1993, São Paulo. Anais ... Florianópolis: FENASOFT, 1993.

## BIBLIOGRAFIA

- [20] FERREIRA, Aurélio B. de Holanda. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1975.
- [21] FATH, J.L., MITCHELL C.M., GOVINDARAJ, T. An ICAI architecture for troubleshooting in complex dynamic systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, USA, v. 20, n. 3, p.537-558, 1990.
- [22] BOYD, G. M., MITCHELL, P.D. How can intelligent CAL better adapt to learners? Computer Assisted Learning, USA, v.18, n.1-3, 1992.
- [23] SANTAROSA, Lucila. Análise e perspectivas de utilização do computador como recurso instrucional. In: SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA, 3º., 1979, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1979, p.16-26.
- [24] RAMOS, André L. T. Sistema CADD para projeto de estruturas de concreto armado. Florianópolis: UFSC, 1993. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- [25] PFAFFENBERGER, Bryan. Dicionário dos usuários de microcomputadores. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1990.
- [26] TORI, Romero, ARAKAKI, Reginaldo, MASSOLA, Antonio M.A. et al. Fundamentos de computação gráfica. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1987.
- [27] RENZETTI, Roberto B. AutoCAD : Manual de referência completo e total. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

- [28] LEVINE, Robert I., DRANG, Diane E., EDELSON, Barry. Inteligência artificial e sistemas especialistas. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- [29] ZIMBARG, Eni. AutoCAD dicas & truques. São Paulo: Érica, 1990.
- [30] MILLER, Alan R. Introdução ao AutoCAD. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- [31] THOMAS, Robert M. Técnicas avançadas em AutoCAD. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 1989.
- [32] DELUCCHI, Christopher J. AutoCAD. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1991.
- [33] ROPION, R. Cotação funcional dos desenhos técnicos. São Paulo: McGraw-Hill, 1974.
- [34] LEITE, José A. A. Metodologia de elaboração de teses. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.
- [35] MARTIN, James. Hiperdocumentos e como criá-los. Rio de Janeiro: Campus, 1992.
- [36] STEVENS, Al. Windows 3. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1991.
- [37] RAMALHO, José A.A. MS-DOS 6.2. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1994.
- [38] WARMAN, E.A. Computer aided design : an intersection of ideas. In: IFIP TC-5 WORKING CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PATTERN RECOGNITION IN COMPUTER AIDED DESIGN, 1978, Grenoble. Anais ... Grenoble: Institut National Polytechnique de Grenoble, 1978, p. 1-18.
- [39] REED, W.S. A pattern recognition based learning CAD system. In: IFIP TC-5 WORKING CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PATTERN RECOGNITION IN COMPUTER AIDED DESIGN, 1978, Grenoble. Anais ... Grenoble: Institut National Polytechnique de Grenoble, 1978, p. 211-225.
- [40] MOHR, R., MASINI, G. Drawing analysis and computer aided design. In: IFIP TC-5 WORKING CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PATTERN RECOGNITION IN COMPUTER AIDED DESIGN, 1978, Grenoble. Anais ... Grenoble: Institut National Polytechnique de Grenoble, 1978, p. 477-1492.